

Verletzungen der bleibenden Zähne

Teil 4: Therapie der Kronenfrakturen

STEFAN HÄNNI¹
THOMAS VON ARX²

¹ Klinik für Zahnerhaltung, Präventiv- und Kinderzahnmedizin

² Klinik für Oralchirurgie und Stomatologie, Zahnmedizinische Kliniken der Universität Bern

Korrespondenzadresse

Dr. Stefan Hänni, OA
Klinik für Zahnerhaltung, Präventiv- und Kinderzahnmedizin
Zahnmedizinische Kliniken der Universität Bern
Freiburgstrasse 7, 3010 Bern
Tel. 031 632 25 80
Fax 031 632 98 75
E-Mail: stefan.haenni@zmk.unibe.ch

Zusammenfassung Die Diagnostik und Therapie von Zahnverletzungen gehört nicht zu den Routinearbeiten in der zahnärztlichen Praxis. Zudem handelt es sich meistens um Notfälle, die oft ausserhalb der üblichen Praxiszeiten zur Behandlung kommen. Ziel dieser vierteiligen Arbeit ist, der Leserin und dem Leser die aktuell an der Universität Bern gültigen Therapiekonzepte der Zahnverletzungen bleibender Zähne zu vermitteln. Die fruchtbare Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Zahntraumatologie der Klinik für Oralchirurgie und Stomatologie sowie der Klinik für Zahner-

haltung (mit Kinderzahnmedizin und Endodontologie) gründet auf der gemeinsamen Sprechstunde für Zahntraumatologie, die vor 5 Jahren eingerichtet worden ist. Aus der Diskussion und Evaluation der an unseren Kliniken behandelten Fälle und unter Berücksichtigung der aktuellen Literatur aus Klinik und Forschung wurden die in den bereits publizierten Arbeiten und in der vorliegenden vorgestellten Konzepte erarbeitet. Im 4. Teil dieser Serie wird die Therapie der Kronenfrakturen erläutert.

Einleitung

Kronenfrakturen machen mit ca. 26–76% den grössten Teil aller traumatisch bedingten Zahnschäden in der permanenten Dentition aus. Kronenwurzelfrakturen sind mit 5% sehr viel seltener (ANDREASEN ET AL. 1994). Dabei sind die zentralen oberen Inzisiven die gefährdetsten Zähne.

Kronenfrakturen können den Schmelz, das Dentin und die Pulpa betreffen (Abb. 1). Bei Kronenwurzelfrakturen ist jeweils noch Wurzelzement mit betroffen. Je nach involvierten Geweben werden die Traumata in 4 Klassen eingeteilt (WHO 1995) (Tab. 1).

Abhängig von Art und Heftigkeit des Traumas können Kronenfrakturen in Verbindung mit Dislokationsverletzungen auftreten. Bei kombinierten Verletzungen ist die Reaktionsfähigkeit der Pulpa vermindert und ihre Überlebenschance entsprechend herabgesetzt (ROBERTSON ET AL. 1998; VON ARX ET AL. 2005). In diesem Artikel sollen nur isolierte Kronenfrakturen diskutiert werden.

Kronenfrakturen haben, richtiges Handeln vorausgesetzt, eine gute bis ausgezeichnete Prognose. Dabei sind die Ziele die Vitalerhaltung der Pulpa und die Wiederherstellung von Form und Funktion der beschädigten Zähne.

Hier sollen einerseits die Reaktion der Pulpa auf die unterschiedlichen Traumata, die entsprechenden Therapien und

deren Prognose und andererseits die Möglichkeiten zur langfristigen Wiederherstellung von Form, Funktion und Ästhetik der zerstörten Zahnkronen besprochen werden.

Schmelzinfraction, Schmelzfraktur

Beschreibung

Schmelzinfractionen oder Schmelzsprünge sind Risse, welche im Schmelz begrenzt sind. Sie verlaufen in der Regel in der Zahnlongsachse. Zentrale Schneidezähne weisen natürlicherweise in 80–90% klinisch sichtbare Schmelzsprünge auf, deren Entstehung auf Spannungsphänomene durch rasche Temperaturwechsel und Druckeinwirkungen zurückgeführt wird (SCHROEDER 1992).

Traumatisch bedingte Schmelzsprünge zeigen je nach Krafteinwirkung unterschiedliche Verlaufsmuster. Klinisch sind Schmelzinfractionen nur in 4% der Fälle ohne Spezialbeleuchtung erkennbar (ZACHRISSON ET AL. 1980). Zur Diagnose sollten die Zähne deshalb mit einer Kaltlichtsonde durchleuchtet werden. Schmelzsprünge sind oft die einzigen Zeichen des Traumas und können Hinweise auf weitere Verletzungen, insbesondere des Parodonts, liefern.

Bei Schmelzfrakturen verläuft der Substanzverlust im Schmelz. In der Regel betreffen sie die Inzisiven. Sie verlaufen horizontal oder sind auf eine Ecke begrenzt (Abb. 2).

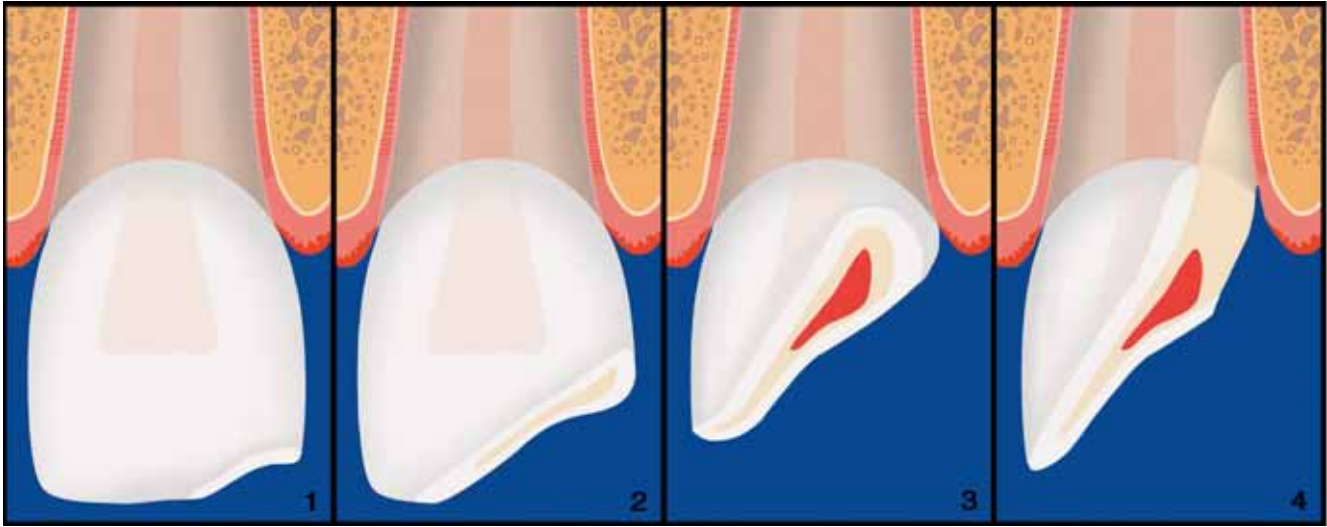


Abb. 1 Grafische Darstellung der Klassifikation der Kronenfrakturen (Tab. 1). Mod. nach «Application of the International Classification of Diseases to Dentistry and Stomatology», WHO (1995). 1 Schmelzinzision/Schmelzfraktur, 2 Einfache Kronenfraktur, 3 Komplizierte Kronenfraktur, 4 Kronenwurzelfraktur

Tab.1 Klassifikation der Kronenfrakturen. Mod. nach «Application of the International Classification of Diseases to Dentistry and Stomatology», WHO (1995)

Bezeichnung	Involvierte Gewebe
1 Schmelzinzision/Schmelzfraktur	Schmelz
2 Einfache Kronenfraktur	Schmelz, Dentin
3 Komplizierte Kronenfraktur	Schmelz, Dentin, Pulpa
4 Kronenwurzelfraktur	Schmelz, Dentin, Wurzelzement, ± Pulpa



Abb.2 Klinischer Fall eines frakturierten Frontzahnes mit einer Schmelzfraktur

Pathologie

Die Reaktion der Pulpa auf Schmelzinzisionen oder Schmelzfrakturen ist nicht bekannt.

Therapie

Pulpa

Bei einer einfachen Schmelzfraktur ist keine spezifische Behandlung der Pulpa nötig.

Nachkontrollen mit Sensibilitätstest sollten regelmässig jährlich erfolgen.

Rekonstruktion

Schmelzinzisionen bedürfen in der Regel keiner Therapie. Ausgeprägte Risse sollten mit einem Adhäsivsystem versiegelt werden, um die Pulpa vor einer möglichen bakteriellen Invasion zu schützen und um die extrinsische Verfärbung der Spalten zu verhindern (LOVE 1996).

Bei Schmelzfrakturen genügt je nach Ausmass des Defekts eine einfache Schliiffkorrektur zur Rekonturierung des Zahnes

und zur Glättung scharfer Kanten. Falls Form, Ausdehnung oder Lage des Schmelzverlusts eine Rekonturierung ausschliessen, ist eine Rekonstruktion mit Komposit und der Schmelzätztechnik indiziert.

Prognose

Die Prognose nach Schmelzinzisionen und Schmelzfrakturen ist ausgezeichnet. Bei Infraktionen muss in 0–3,5% (NIELSEN & RAVN 1981; STALHANE & HEDEGARD 1975) und bei Frakturen in 0–1% (RAVN 1981; STALHANE ET AL. 1975) der Fälle mit einer Pulpanekrose gerechnet werden. Die Pulpanekrosen sind wahrscheinlich auf eine übersehene begleitende Kontusion, Subluxation oder bakterielle Invasion über Schmelzrisse zurückzuführen (LOVE 1996).

Einfache Kronenfraktur (Kronenfraktur ohne Pulpabeteiligung)

Beschreibung

Frakturen, welche auf Schmelz und Dentin beschränkt sind und die Pulpa nicht direkt betreffen (keine Pulpaeröffnung) (Abb. 3).

Pathologie

Sobald die Fraktur über eine simple Schmelzabsplitterung hinausgeht und Dentin freiliegt, ist die Pulpa über eröffnete Tubuli indirekt beteiligt. Je nach Restdentindicke über der Pulpa liegen 20 000 bis 45 000 Tubuli pro Quadratmillimeter Dentin frei (GARBEROGLIO & BRANNSTROM 1976).

Die Reaktion der Pulpa auf eine einfache Kronenfraktur hängt von ihrem sonstigen Zustand ab (ZACHRISSON ET AL. 1980). Ist die Pulpa vital und ist ihre Blutversorgung nicht beeinträchtigt



Abb.3 Klinischer Fall eines frakturierten Frontzahnes mit einer einfachen Kronenfraktur



Abb. 4a/b/c a: Klinischer Fall zweier frakturierter Frontzähne; b: Koronales Fragment Zahn 11; c: Versorgung mit wiederbefestigtem Fragment bei Zahn 11, Versorgung mit direktem Kompositaufbau bei Zahn 21 (Bilder: Dr. N. Widmer)

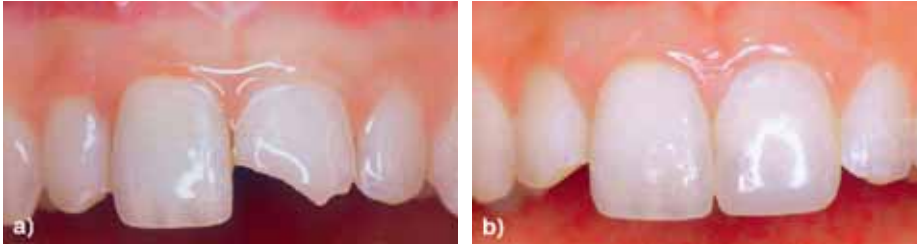


Abb. 5a/b a: Klinischer Fall eines frakturierten Frontzahnes; b: Versorgung mit einem direkten Kompositaufbau

tigt, so tritt über die eröffneten Tubuli Dentinliquor aus. Dieser Flüssigkeitsstrom verhindert für kurze Zeit ein Eindringen von Bakterien oder Toxinen. Es wird vermutet, dass es zu einer lokalen Entzündung kommt (BRANNSTROM 1962). Diese Entzündung ist temporär, falls es zu keiner bakteriellen Invasion kommt (BOUILLAGUET ET AL. 1996).

Therapie

Pulpa

Für das langfristige Überleben der Pulpa ist es essenziell, dass sie vor Bakterien und deren Produkten geschützt wird. Bei Kronenfrakturen mit freiliegendem Dentin muss deshalb die Therapie in erster Linie auf das optimale Abdichten der Dentinwunde ausgerichtet sein.

Die Frage, ob die Wundfläche mit einem Kalziumhydroxidpräparat abgedeckt werden soll oder ob ein Versiegeln mit «total bonding» vorzuziehen ist, wird kontrovers diskutiert.

Reaktion der Pulpa auf die eingesetzten Materialien: einerseits scheint die Pulpa die Konditionierung von Schmelz und Dentin relativ gut zu tolerieren, solange die verbleibende Restdentindicke genügend gross (>0,3–0,5mm) ist (COSTA ET AL. 2003; HANKS ET AL. 1988). Andererseits ist bei sehr pulpanahem Dentin mit vielen freiliegenden Tubuli mit grossen Durchmessern die Diffusionsbarriere gegen die Komponenten der Restaurationsmaterialien ungenügend. Hier kann eine negative Gewebsreaktion durch die Applikation einer Schutzschicht biokompatiblerer Materialien wie Vitrebond (3M/ESPE) oder Dycal (Dentsply/De Trey) weitgehend verhindert werden (COSTA ET AL. 2003).

Haftwerte der Rekonstruktion: Olsburgh et al. (OLSBURGH ET AL. 2002) empfehlen den Verzicht auf indirekte Pulpaüberkappung, weil damit die Haftwerte der nachfolgenden Rekonstruktion vermindert würden. Farik et al. (FARIK ET AL. 2000) konnten zeigen, dass die Haftung eines Schmelz-Dentin-Fragments durch die vorübergehende Applikation (3 Wochen) eines Kalziumhydroxidzements vor der Schmelzätzung und der Konditionierung signifikant reduziert wurde. Demgegenüber fanden Windley et al. (WINDLEY ET AL. 2003) keine Reduktion der Haftwerte auf Dentin nach 7- bis 30-tägiger Kalziumhydroxidexposition.

Je nach verbleibender Restdentindicke wird deshalb empfohlen, die Dentinwunde nach der Konditionierung mit Phos-

phorsäure mit der Total-Bond-Technik zu versiegeln. Sehr pulpanahe Stellen sollten mit einem Kalziumhydroxidliner oder mit einem Unterfüllungsmaterial (Glasionomer) abgedeckt werden. Da die Haftung jedes Dentinbonding-Systems proportional zur gebondeten Fläche ist, sollte dabei nicht mehr als das notwendige Minimum an Dentinfläche abgedeckt werden.

Zähne mit Kronenfrakturen ohne direkte Pulpabeteiligung sollen im ersten Jahr nach dem Trauma mindestens einmal nachuntersucht werden. In der Folge empfehlen sich jährliche Recalls.

Rekonstruktion

Bei der Therapie dieser Zahnverletzungen stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung:

- *Wiederbefestigung des Fragments – Reattachment* (Abb. 4a/b/c). Wenn das Zahnfragment beigebracht werden kann und es in Form und Zustand adäquat ist, soll die Möglichkeit der Wiederbefestigung geprüft werden. Fragmente, welche in einem Stück vorliegen, sicher repositionierbar sind, über eine ausgedehnte Adhäsionsfläche und einen günstigen Frakturverlauf verfügen, sollen wieder verwendet werden. Durch lange trockene Lagerung verfärbte Bruchstücke sollen vorgängig während 24 Stunden in Wasser oder Kochsalzlösung rehydrieren (FARIK ET AL. 1999).
- *Direkte Restauration – Kompositaufbau* (Abb. 5a/b). Ist das Zahnfragment nicht mehr vorhanden, liegt es in multiplen Bruchstücken vor oder ist es sonst nicht reponierbar, ist die Restauration des Zahnes mittels Kompositaufbau indiziert.
- *Indirekte Restauration – Veneer, Krone* (Abb. 6a/b). Wird eine indirekte Restauration vorgezogen, so sind je nach Art und Ausdehnung des Defekts Kronen oder Veneers möglich.

Bedingung für jede Art adhäsiv verankerter Versorgung ist eine optimale Trockenlegung des Arbeitsgebiets.

Wiederbefestigung des Fragments – Reattachment

Die Wiederbefestigung des Zahnfragments hat gegenüber den anderen Techniken mehrere Vorteile. Sie ermöglicht die exakte Restauration des Zahnes bezüglich Form, Farbe, Oberflächen-textur und Abrasionsverhalten. Gleichzeitig ist die Behandlung weniger zeitintensiv und deshalb kostengünstiger.



Abb. 6a/b a: Klinischer Fall des frakturierten Frontzahnes 11 (provisorische Versorgung mit Komposit); b: Versorgung mit einem Keramikveneer (Bilder: Dr. N. Widmer)

In Abhängigkeit der Präparationsform erreichten wiederbefestigte Fragmente eine mit Kompositaufbauten vergleichbare Frakturstabilität (LOGUERCIO ET AL. 2004; REIS ET AL. 2001). Dabei sollten Fragmente mit guter Passung nicht oder nur im Dentin präpariert werden. Durch das Schleifen einer Rinne im Dentin wird die Bondingfläche und somit die Haftung erhöht, ohne dass dabei die Kompositfuge verbreitert wird (REIS ET AL. 2001). Der Zahn und das Fragment werden mit Phosphorsäure geätzt und mit einem Adhäsivsystem konditioniert, ohne das Bonding auszuhärten. Das Fragment wird mit einem fließfähigen Komposit beschickt und reponiert. Als Farbe des Komposits empfiehlt sich transparent oder aber eine Schmelzfarbe, welche der Grundfarbe des Zahnes entspricht. Nach Entfernung der Überschüsse wird das Komposit ausgehärtet und ausgearbeitet. Nicht präparierte Fragmente können direkt mit einem gefüllten Dentineadhäsiv wiederbefestigt werden.

Ist eine exakte Reposition nicht möglich oder bestehen Ausprägungen an den Bruchflächen, sollten an Zahn und Fragment eine zirkuläre Schmelzabschrägung vorgenommen werden. So kann einerseits die Adhäsionsfläche erhöht und andererseits durch das Kaschieren des Frakturspalts ein ästhetisch ansprechendes Resultat erreicht werden. Die Befestigung des präparierten Fragments erfolgt wie oben beschrieben.

Die Wahl des Befestigungsmaterials scheint insbesondere bei guter Passung des Fragments von untergeordneter Bedeutung zu sein (REIS ET AL. 2002). Es sollte aber beachtet werden, dass die verwendeten Materialien, Bonding, Komposit, miteinander kompatibel sein müssen (REIS ET AL. 2004; SANARES ET AL. 2001). «One-bottle-Systeme» weisen allgemein schwächere Haftwerte auf. Sie sind für das Reattachment von Zahnfragmenten zurzeit noch ungeeignet (PAGLIARINI ET AL. 2000; VAN MEERBEEK ET AL. 2005).

Direkte Restauration – Kompositaufbau

Mit modernen Kompositen und Bondingmaterialien können heutzutage, die entsprechende Technik vorausgesetzt, Form, Funktion und insbesondere auch die Ästhetik vorhersagbar wiederhergestellt werden.

Wie anderswo im Detail beschrieben (HUGO 2001), wird nach der Isolation des Arbeitsfeldes mit Kofferdam ein «mock-up» der zu erstellenden Rekonstruktion gefertigt. Dieses wird mit einer Puttymasse abgeformt; der Abdruck dient anschliessend als Schablone. Schmelz- und Dentinmassen werden so appliziert, dass sie Form, Farbe, Textur, Opazität und Transluzenz des frakturierten Stücks optimal imitieren und sich der Aufbau harmonisch in die Restdentition integriert.

Indirekte Restauration – Veneer, Krone

War früher die Überkronung die einzige Möglichkeit frakturierte Frontzähne mit befriedigender Ästhetik zu rekonstruieren, so ist diese Therapieform in der letzten Zeit in den Hintergrund gedrängt und durch weniger invasive Konzepte wie adhäsiv befestigte Keramikveneers ersetzt worden (MAGNE & MAGNE 2005).

Durch die adhäsive Befestigung von Keramikschalen kann im Vergleich zur traditionellen mechanischen Retention viel Zahnschubstanz geschont werden. Die Vitalität des Zahnes kann erhalten werden. Auf Kronenverlängerungen kann verzichtet werden, da auch relativ kurze klinische Kronen restauriert werden können.

Eine Veneerversorgung kann die Stabilität des frakturierten Zahnes nach der Reposition des Fragmentes über das ursprüngliche Mass hinaus wiederherstellen (ANDREASEN ET AL. 1991).

Ist das Fragment nicht mehr beizubringen, kann der Defekt in die «Veneerpräparation» einbezogen werden. Dabei sollen die allgemein akzeptierten Präparationsregeln befolgt werden. Bei frakturierten Inzisiven muss insbesondere beachtet werden, dass die palatinale Präparationsgrenze je nach Substanzverlust in die Konkavität des Zahnes und damit in eine mechanisch stark belastete Region zu liegen kommt. In diesem Fall sollte die Präparation nicht in einer Hohlkehle enden, sondern stumpf auslaufen. Bei ausgeprägtem Substanzverlust liegt die Präparationsgrenze im Bereich des Cingulum und somit in einem wenig belasteten Gebiet. Hier kann der Abschluss als kleine Hohlkehle oder aber auch stumpf ausgestaltet werden. In jedem Fall sollte ein diagnostisches Wax-up angefertigt werden, um den Substanzverlust zu minimieren (MAGNE 1999).

Prognose

Pulpa

Die Prognose für das Überleben der Pulpa nach einer einfachen Kronenfraktur ist bei adäquater Versorgung gut. Mit einer Nekrose muss in höchstens 6% der Fälle gerechnet werden (ZADIK ET AL. 1979). Kanalobliterationen und externe Wurzelresorptionen kommen selten vor (<1%). Dabei handelt es sich wahrscheinlich um Folgen nicht diagnostizierter Konkussionen oder Subluxationen.

Rekonstruktion

Ecken- und Inzisalkantenaufbauten haben eine relativ schlechte Langzeitprognose.

Bei Robertson (ROBERTSON ET AL. 1997) ging während einer Beobachtungszeit von 15 Jahren jeder Aufbau mindestens einmal verloren. 19% der Rekonstruktionen mussten in diesem Zeitraum 10 Mal erneuert werden. Bei Andreasen war die mittlere Überlebensdauer für Kompositaufbauten ca. 700 Tage (ANDREASEN ET AL. 1995).

Für wiederbefestigte Fragmente fanden Andreasen et al. (1995) eine mittlere Überlebensdauer von 2,5 Jahren. Nach etwas weniger als 7 Jahren waren 53% aller Fragmente verloren gegangen. In seiner klinischen Langzeitstudie hat Spinias (SPINIAS 2004) 70 Restaurationen auf traumatisierten Frontzähnen über 7 Jahre nachuntersucht. Innerhalb des Untersuchungszeitraums ging jede Füllung mindestens einmal verloren. 48% der ersetzten Füllungen mussten bis Studierende mindestens noch einmal erneuert werden. Bei 20 Zähnen wurde das frakturierte Fragment wieder befestigt. Auch bei diesen Zähnen mussten

alle Fragmente im Verlauf der Studie mindestens einmal neu geklebt werden.

Herkömmliche Porzellan-Veneers haben eine Lebenserwartung von 10–15 Jahren (FRIEDMAN 1998). Magne und Mitarbeiter versorgten 48 Zähne mit ausgedehnten koronalen Defekten mit Veneers. Nach einer mittleren Tragzeit von 4,5 Jahren wurden die Zähne nachuntersucht; sämtliche Rekonstruktionen hatten überlebt und zeigten keine signifikanten Alterszeichen (MAGNE ET AL. 2000).

Die häufigste Ursache für den Verlust der Versorgung nach Trauma war ein erneutes Trauma (ANDREASEN ET AL. 1995). Deshalb ist insbesondere bei Kindern der Kompositaufbau oder das Reponieren des Fragments die Therapie der Wahl. So versorgte Zähne zeigen ein günstigeres Frakturverhalten als mit Keramik versorgte Zähne (MAGNE & DOUGLAS 1999). Beim Erwachsenen ist, bei kleinen und mittleren Frakturen, der direkte Aufbau mit Komposit, moderne Materialien und adäquate Technik vorausgesetzt, die Therapie der Wahl. Bei grösserem Substanzverlust stellen adhäsive Keramikversorgungen eine dauerhafte, nicht-invasive und kostengünstige Versorgung von Kronenfrakturen dar (MAGNE ET AL. 2000).

Komplizierte Kronenfraktur, Kronenfraktur mit Pulpabeteiligung

Beschreibung

Frakturen, welche Schmelz und Dentin betreffen, mit direkter Pulpaeröffnung (Abb. 7).

Pathologie

Die zur Mundhöhle hin eröffnete Pulpa wird ohne entsprechende Therapie unweigerlich absterben (KAKEHASHI ET AL. 1965). Andererseits ist sie bei richtiger Behandlung keineswegs verloren. Eine intakte Blutversorgung vorausgesetzt, wird sie nicht sofort nekrotisch. Vielmehr entwickelt sich zuerst eine oberflächliche Pulpitis, welche nur wenige Millimeter tief in das Gewebe reicht und reversibel ist (CVEK ET AL. 1982). Erst in der Folge kommt es zu degenerativen oder proliferativen Veränderungen – die Pulpa stirbt ab, oder es bildet sich ein Pulpapolymp.

Therapie

Pulpa

Die Ziele der Behandlung sind Erhaltung der Vitalität, Entzündungsfreiheit der Pulpa und eine möglichst biologische, dichte Abgrenzung zur Mundhöhle. Bei Zähnen mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum muss versucht werden, mindestens die Wurzelpulpa vital zu erhalten, damit die Entwicklung der Wurzel weiterläuft und sie möglichst ihre volle Länge und Wandstärke erreichen kann. Dazu sind je nach Situation unterschiedliche Vorgehensweisen indiziert.

Es stehen zur Verfügung:

- die direkte Überkappung



Abb. 7 Klinischer Fall von komplizierten Kronenfrakturen mit Pulpabeteiligung

- die partielle Pulpotomie, Pulpotomie nach Cvek (CVEK 1978)
 - die vollständige Pulpotomie (Vitalamputation)
- Falls eine Vitalerhaltung nicht möglich ist, muss die Pulpa exstirpiert werden (Tab. II).

Beeinflussende Faktoren sind:

- *Begleitende Dislokationsverletzungen.* Sie beeinträchtigen die Blutversorgung der Pulpa und schmälern so ihre Reaktionsfähigkeit (VON ARX ET AL. 2005) – konservative Therapieansätze sind eher nicht indiziert.
 - *Zustand der Pulpa vor dem Trauma (biologisches Alter).* Durch frühere Traumata (obliteriertes Lumen), durch Karies oder Parodontitis vorbelastete oder entzündete Pulpen sind gegenüber erneuten Traumata weniger widerstandsfähig.
 - *Alter des Patienten.* Der Einfluss des Alters des Zahnes wird kontrovers diskutiert. Verschiedene Autoren konnten erfolgreiche direkte Überkappungen bis ins hohe Alter nachweisen, andererseits zeigen andere Studien eine Abnahme des Erfolgs mit zunehmendem Alter (AUSCHILL ET AL. 2003; RUCKTESCHLER 1952). Die Diskussion zeigt, dass wahrscheinlich nicht das chronologische Alter, sondern vielmehr das biologische Alter der Pulpa für den Erfolg massgebend ist (SCHRÖDER 1981).
 - *Dauer der Pulpaexposition bis zur Therapie.* Gemäss einer Übersichtsarbeit von Andreassen et al. (ANDREASEN ET AL. 2002) ist die Heilung der Pulpa nach direkter Überkappung oder partieller Pulpotomie unabhängig vom Behandlungszeitpunkt, solange die Zähne innerhalb von 24 Stunden therapiert werden. Erfolgt die Behandlung mit grösserer Verzögerung, sollte die partielle Pulpotomie vorgezogen werden (CVEK 1978).
 - *Bakterielle Kontamination.* Die eröffnete Pulpa wird unweigerlich mit Bakterien kontaminiert. Wird sie jedoch innerhalb von 24 Stunden therapiert, sinken die Erfolgsraten nicht. Viel entscheidender ist, eine Reinfektion mittels dichtem Verschluss zu verhindern (COX ET AL. 1985).
 - *Ausdehnung der Pulpaeröffnung.* Die Grösse der Pulpaeröffnung scheint keinen direkten Zusammenhang mit dem Erfolg der Vitalerhaltungstherapie zu haben (CVEK 1978). Hingegen nehmen die praktischen Probleme mit zunehmender Grösse der Exposition zu, was indirekt zu erhöhten Misserfolgsraten bei grossen Eröffnungen beitragen kann.
 - *Stadium der Wurzelentwicklung.* Für das Überleben der Pulpa nach einer isolierten Kronenfraktur mit Pulpabeteiligung (d.h. ohne begleitende Dislokation) spielt das Stadium der Wurzelentwicklung keine Rolle (ROBERTSON ET AL. 2000). Bei kombinierten Fraktur-Dislokationsverletzungen hingegen fällt dem Stadium der Wurzelentwicklung eine entscheidende Bedeutung zu (ROBERTSON ET AL. 2000; VON ARX ET AL. 2005).
 - *Vorhandensein eines Blutkoagulums.* Das Vorhandensein eines Blutkoagulums zwischen Medikament und Pulpa beeinflusst die Heilung. Es schränkt die Bildung von Tertiärdentin ein und kann als Nährboden für Bakterien dienen. Fibrinbeläge und Blutkoagula müssen deshalb sorgfältig entfernt werden.
- Zur Reinigung und Desinfektion von Wunden hat sich NaOCl seit vielen Jahren bewährt (DAKIN 1915). Auch bei der Behandlung der freiliegenden Pulpa hat es sich bei der Reinigung und Desinfektion als sehr effektiv erwiesen, ohne dabei die Heilung der Gewebe und die Tertiärdentinbildung zu beeinträchtigen (HAFEZ ET AL. 2002).
- Die Blutstillung sollte grundsätzlich ohne blutstillende Agenzien erfolgen. Ist die Blutung durch Kompression al-

Tab. II Übersicht der Pulpathapie bei komplizierten Kronenfrakturen mit Pulpabeteiligung

Direkte Überkappung	Klinisches Vorgehen
Voraussetzungen/Indikationsstellung <ul style="list-style-type: none"> – Abgeschlossene oder nicht abgeschlossene Wurzelbildung – Bei geschlossenem Apex soll kein zusätzliches Trauma vorliegen – Beeinträchtigung der Blutversorgung (VON ARX ET AL. 2005) – Kleinflächige Pulpaeröffnung – Behandlung innerhalb von 24 Stunden – Keine tiefe Karies 	<ul style="list-style-type: none"> – Isolation des Zahnes mittels Kofferdam – Reinigung/Desinfektion/Blutstillung (sterile Kochsalzlösung oder besser NaOCl) – Trocknung – Applikation des Überkappungsmaterials (Kalziumhydroxidsuspension, Kalziumhydroxidpaste oder MTA) – Abdeckung des Überkappungsmaterials (Kalziumhydroxidzement oder Glasionomerzement) – Versiegelung der Dentinwunde (Dentinbondingsystem) – Definitive Versorgung des Zahnes
Partielle Pulpotomie	Klinisches Vorgehen
Voraussetzungen/Indikationsstellung <ul style="list-style-type: none"> – Abgeschlossene oder nicht abgeschlossene Wurzelbildung – Bei geschlossenem Apex soll kein zusätzliches Trauma vorliegen. – Beeinträchtigung der Blutversorgung (VON ARX ET AL. 2005) – Direkte Überkappung ist kontraindiziert (Grösse der Eröffnung, Zeitintervall seit Eröffnung) – Behandlung innerhalb von 72 Stunden – Keine tiefe Karies 	<ul style="list-style-type: none"> – Isolation des Zahnes mittels Kofferdam – Reinigung/Desinfektion (sterile Kochsalzlösung oder besser NaOCl) – Amputation der Pulpa (oberflächliche 2 mm und umgebendes Dentin. Mit schnelldrehendem Diamanten unter sterilen Bedingungen und optimaler Kühlung) – Blutstillung (durch Spülung mit steriler Kochsalzlösung oder NaOCl. Kommt die Blutung nicht innerhalb weniger Minuten zum Stillstand, ist die partielle Pulpotomie kontraindiziert) – Applikation des Überkappungsmaterials auf die Pulpawunde (Kalziumhydroxidsuspension oder MTA) – Abdeckung des Überkappungsmaterials (Kalziumhydroxidzement oder Glasionomerzement) – Versiegelung der Dentinwunde (Dentinbondingsystem) – Definitive Versorgung des Zahnes
Vollständige Pulpotomie/Vitalamputation	Klinisches Vorgehen
Voraussetzungen/Indikationsstellung <ul style="list-style-type: none"> – Nicht abgeschlossene Wurzelbildung – Partielle Pulpotomie ist kontraindiziert (die Pulpa ist mehr als nur oberflächlich entzündet. Nekrotisches Gewebe an der Eröffnungsstelle) – Keine tiefe Karies 	<ul style="list-style-type: none"> – Isolation des Zahnes mittels Kofferdam – Reinigung/Desinfektion (sterile Kochsalzlösung oder NaOCl) – Amputation der Kronenpulpa (Mit schnelldrehendem Diamanten unter sterilen Bedingungen und optimaler Kühlung) – Blutstillung (durch Spülung mit steriler Kochsalzlösung oder NaOCl. Kommt die Blutung nicht innerhalb weniger Minuten zum Stillstand, ist die vollständige Pulpotomie kontraindiziert) – Applikation des Überkappungsmaterials auf die Pulpawunde (Kalziumhydroxidsuspension oder MTA) – Abdeckung des Überkappungsmaterials (Kalziumhydroxidzement oder Glasionomerzement) – Versiegelung der Dentinwunde (Dentinbondingsystem) – Definitive Versorgung des Zahnes
Pulpektomie/Vitalexstipation	Klinisches Vorgehen
Voraussetzungen/Indikationsstellung <ul style="list-style-type: none"> – Abgeschlossene Wurzelbildung – Versuch der Vitalerhaltung ist kontraindiziert (wenn nekrotisches Gewebe vorliegt, begleitendes Trauma, welches Blutversorgung beeinträchtigt [VON ARX ET AL. 2005]) – Pulparaum ist zur Retention der Rekonstruktion nötig 	<ul style="list-style-type: none"> – Vitalexstipation – Kalziumhydroxideinlage für 1–3 Wochen (je nach Begleittrauma auch erste Einlage mit Ledermix® [VON ARX ET AL. 2005]) – Wurzelkanalfüllung – Definitive Versorgung des Zahnes oder – Vitalexstipation und Wurzelkanalfüllung in einer Sitzung – Definitive Versorgung des Zahnes

leine nicht zu erreichen, so ist die Pulpa mehr als nur oberflächlich entzündet, und die Indikation sollte überdacht werden. Der Einfluss von Hämostyptika auf die Dentinhafung wird kontrovers diskutiert (KIMMES ET AL. 2006; O'KEEFE ET AL. 2005).

- **Höhe der Pulpaamputation.** Die Pulpa kann auf jeder Höhe amputiert werden. In der Praxis zeigen sich jedoch Unterschiede (siehe bei Prognose). Während die direkte Überkappung und die partielle Pulpotomie exzellente Heilungsraten

zeigen, scheint die vollständige Pulpotomie etwas weniger erfolgreich zu sein.

- **Wahl des Überkappungsmaterials.** Bei der Therapie zur Vitalerhaltung der Pulpa wird die Wunde mit einem Produkt abgedeckt, das sie vor zusätzlichem Schaden bewahrt und ihre Regeneration sowie die Ausbildung einer Hartgewebsbrücke initiiert und fördert. Für das langfristige «Überleben» der Pulpa ist zusätzlich ein bakterienichtender Abschluss von entscheidender Bedeutung (COX ET AL. 1985).

Kalziumhydroxid ist nach wie vor das Medikament der Wahl. In Kontakt mit dem Pulpagewebe verursacht es eine begrenzte Nekrose, gegen die in der Folge neues Hartgewebe gebildet wird (CVEK ET AL. 1982; CVEK & LUNDBERG 1983). Kalziumhydroxid kann als weichbleibende Paste, wässrige Suspension oder als Kalziumhydroxidzement eingesetzt werden. Weichbleibende Präparate sind den Zementen im Hinblick auf die Prognose überlegen (LIM & KIRK 1987).

Die direkte Überkappung mit Adhäsivsystemen und Totalbonding-Technik als Ersatz für Kalziumhydroxid vorgeschlagen worden. Die Literatur zeigt jedoch, dass diese Materialien dazu noch nicht empfohlen werden können (COSTA ET AL. 2000; PAMEIJER & STANLEY 1998). Als echte Alternative bietet sich das Mineral Trioxide Aggregate (MTA) (ProRoot® MTA Dental Cement Dentsply/Maillefer, Ballaigues, CH) an (PITT FORD ET AL. 1996). In Tierexperimenten, aber auch an menschlichen Zähnen konnte die ausgeprägte Biokompatibilität und das hervorragende Abdichtungsvermögen aufgezeigt werden (GÖHRING ET AL. 2004A; GÖHRING ET AL. 2004B). Einschränkend muss jedoch festgehalten werden, dass mit MTA behandelte Zähne eine Tendenz zur Grauerfärbung zeigen.

Rekonstruktion

Die Behandlung von Kronenfrakturen mit direkter Pulpabeteiligung unterscheidet sich von der Behandlung einfacher Kronenfrakturen nur bezüglich der Versorgung der freiliegenden Pulpa – die Rekonstruktionsmöglichkeiten und -prozeduren sind dieselben.

Prognose

Pulpa

Die Prognose der Vitalerhaltung der Pulpa ist bei richtiger Indikationsstellung und Durchführung in der Regel recht gut (ROBERTSON ET AL. 2000). Bei direkter Pulpaüberkappung variieren die Erfolgsraten zwischen 81% und 88% (FUKS ET AL. 1982; RAVN 1982). Während die partielle Pulpotomie mit über 95% exzellente Heilungsraten zeigt (CVEK 1978; DE BLANCO 1996; FUKS ET AL. 1987), scheint die vollständige Pulpotomie etwas weniger erfolgreich zu sein (GELBIER & WINTER 1988) (Tab. III). Dazu kommt, dass eine Erfolgskontrolle durch Sensibilitätsprüfung bei vollständig ausgeräumter Kronenpulpa unmöglich wird und man auf radiologische Anzeichen einer Pulpanekrose warten muss. Aus diesen Gründen, und weil eine Vitalextraktion viel bessere Erfolgchancen zeigt, sollte die vollständige Pulpotomie nur bei Zähnen mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum vorgenommen werden. Hier erfolgt eine Risikoabwägung zugunsten der Möglichkeit, dass sich die Wurzel

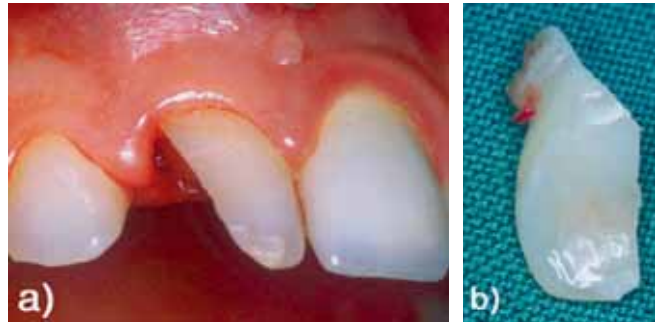


Abb. 8a/b a: Klinischer Fall eines frakturierten Frontzahnes mit einer Kronenwurzelfraktur; b: Kronenwurzelfragment

vollständig ausgebildet und damit länger und stabiler wird, oder dass es zumindest zu einem Verschluss des offenen Apex kommt.

Auch bei diesen Zähnen (isolierte komplizierte Kronenfraktur ohne begleitende Dislokationsverletzung) sind Kanalobliterationen, interne und externe Wurzelresorptionen sehr selten.

Zähne mit komplizierten Kronenfrakturen sollten klinisch und radiologisch nach 3, 6 und nach 12 Monaten und anschließend jährlich während mindestens 3 Jahren nachuntersucht werden.

Rekonstruktion

Siehe bei «einfache Kronenfrakturen».

Kronenwurzelfrakturen

Beschreibung

Frakturen, welche Schmelz, Dentin und Wurzelzement betreffen. Je nach Involvierung der Pulpa werden sie als einfache oder komplizierte Kronenwurzelfrakturen bezeichnet (Abb. 8a/b).

Pathologie

Wie bei Kronenfrakturen verläuft die Frakturlinie auch bei Kronenwurzelfrakturen in der Regel von bukkal-koronal nach oral-apikal. Oft entsteht zusätzlich ein oraler Splitter, welcher ganz oder teilweise frakturiert ist. In der Regel wird das koronale Fragment durch die parodontalen Fasern in der ursprünglichen Position gehalten. Dies erklärt, wieso solche Frakturen, insbesondere im Seitenzahnbereich, leicht übersehen werden. Die Reaktion der Pulpa entspricht je nach ihrer Beteiligung derjenigen bei einfachen oder komplizierten Kronenfrakturen.

Therapie

Pulpa

Siehe bei «Komplizierte Kronenfraktur, Kronenfraktur mit Pulpabeteiligung».

Rekonstruktion

Kronenwurzelfrakturen mit oder ohne Pulpabeteiligung werden grundsätzlich wie entsprechende Kronenfrakturen behandelt.

Als erster Schritt muss der Frakturverlauf und damit die Erhaltungswürdigkeit des Zahnes abgeklärt werden. Das koronale Fragment wird dazu entfernt, die Bruchflächen werden gereinigt und sorgfältig inspiziert. Dabei soll insbesondere auf oft auftretende palatinale Splitter und auf vertikale Frakturlinien geachtet werden.

Läuft die Frakturlinie oberhalb des Epithelansatzes aus, sind keine über die Trockenlegung des Operationsfeldes hinausge-

Tab. III Pulpahheilung nach Behandlung der eröffneten Pulpa. Nach ANDREASEN ET AL. 2007

Untersucher	Anzahl Zähne	Heilung
Pulpaüberkappung		
RAVN 1982	84	74 (88%)
FUKS ET AL. 1982	38	31 (81%)
Partielle Pulpotomie		
CVEK 1978	60	58 (96%)
FUKS ET AL. 1987	63	59 (94%)
CVEK 1993	178	169 (95%)
Vollständige Pulpotomie		
HALLET & PORTEOUS 1963	93	67 (72%)
GELBIER & WINTER 1988	175	139 (79%)

hende Vorbereitungsmaßnahmen notwendig. Endet die Frakturlinie dagegen weit unter dem Knochenrand, muss der Zahn in der Regel extrahiert werden. Allenfalls kann die Wurzel als Platzhalter im Sinne einer Dekoronation zur Kammprophylaxe belassen werden (FILIPPI ET AL. 2001).

Klinisch anspruchsvoll sind die Zähne mit Frakturen bis zum oder leicht unter den Alveolarknochenrand. In diesen Fällen müssen die Frakturänder soweit freigelegt werden, dass die biologische Breite (AMIRI-JEZEH ET AL. 2006) wiederhergestellt und der Zahn rekonstruiert werden kann. Die biologische Breite beträgt beim parodontal Gesunden etwa 2 mm und beinhaltet 1 mm bindegewebiges und 1 mm epitheliales Attachment koronal des marginalen Knochenrandes. Zur Wiederherstellung der durch das Trauma verlorengegangenen biologischen Breite stehen in erster Linie parodontalchirurgische und orthodontische Verfahren und in zweiter Linie die chirurgische Reposition zur Verfügung. Grundvoraussetzung für alle Methoden ist eine genügend lange Restwurzel, sodass durch den Eingriff ein annehmbares Kronen-Wurzel-Verhältnis erzielt werden kann.

Beim parodontalchirurgischen Vorgehen wird die Wurzel durch die Bildung eines Mukoperiostlappens freigelegt. Nach Darstellung des Frakturandes mittels Ostektomie und Entfernung des Desmodonts wird der Zahn wie im Kapitel «einfache Kronenfrakturen» beschrieben entweder durch die Wiederbefestigung des Zahnfragments, durch einen Kompositaufbau oder prothetisch restauriert. Die Pulpa muss dabei vorgängig, wie unter «komplizierte Kronenfrakturen» ausgeführt, versorgt werden. Abschliessend wird der Lappen adaptiert und mit Nähten in der neuen Position fixiert. Kann die definitive Rekonstruktion nicht sofort erfolgen, wird die Pulpa versorgt und die Dentinwunde provisorisch abgedeckt. Das Provisorium soll dabei so ausgestaltet sein, dass ein Einwachsen der Gingiva verhindert werden kann. Falls das Zahnfragment beigebracht werden kann, soll dieses zwischenzeitlich in Kochsalzlösung aufbewahrt werden.

Der Indikationsbereich für die konventionelle Kronenverlängerung ist insbesondere im sichtbaren Bereich schmal. Sie kann nur dort angewendet werden, wo die Ostektomie nicht zu einer ästhetischen Beeinträchtigung führt. Bei einseitiger, palatinaler Ostektomie muss das Risiko einer späteren Labialwanderung des Zahnes beachtet werden.

Im Frontzahnbereich bietet sich die orthodontische Extrusion zur Verlängerung der klinischen Krone an (HEITHERSAY 1973; MALMGREN ET AL. 1991). Je nach Situation erfolgt die Elongation mit einer fixen Apparatur, mit einer Platte und Gummizügen oder mit Magneten (BONDEMARK ET AL. 1997). Dabei wird die jeweilige Verankerung an die verbleibende Restzahnsubstanz geklebt oder nach Exstirpation der Wurzelpulpa und medikamentöser Einlage im Kanal befestigt. Die biologische Breite lässt sich mit orthodontischen Mitteln alleine nicht wiederherstellen, weil die parodontalen Gewebe der Zahnextrusion folgen. Eine parodontalchirurgische Korrektur des Knochen- und Gingivaverlaufes ist nötig. Als Alternative kann durch eine regelmässige, zervikale Fibrotomie während der forcierten Extrusion ein Mitwandern der Gewebe verhindert werden (PONTORIERO ET AL. 1987). Laut Literatur kann ein Zahn in sieben bis zehn Tagen um ca. 1 mm verlagert werden. Nach orthodontischer Extrusion wird eine Retentionszeit von zwei bis sechs Monaten empfohlen (INGBER 1976; SIMON ET AL. 1978). Bei der Rekonstruktion nach orthodontischer Extrusion muss dem schmalen Wurzeldurchmesser durch angepasste Präparation und optimaler Kronengestaltung entsprechend Rechnung getragen werden.

Als letzte Möglichkeit, die biologische Breite wiederherzustellen, steht uns die chirurgische Reposition, auch intra-alveoläre Transplantation, zur Verfügung. Die Methode ist schnell, relativ einfach durchzuführen und kostengünstig. Sie hat den Vorteil, dass bei ungünstigen Frakturverläufen durch Rotation des Zahnes in der Alveole eine übermässige Extrusion vermieden werden kann. Die Wurzel wird unter maximaler Schonung der parodontalen Gewebe vorsichtig luxiert, auf eventuelle zusätzliche Frakturen hin inspiziert, in der neuen Position replantiert und fixiert. Kann eine ausreichende Primärstabilität erreicht werden, wird die Wurzel mit Gingivanähten fixiert. In allen anderen Fällen soll der Zahn während 2 Wochen flexibel geschient werden (VON ARX ET AL. 2005). Als Nachteile müssen der Verlust der Pulpavitalität und die Schädigung des Parodonts und das damit verbundene Risiko von Wurzelresorptionen angeführt werden. Replantierte Zähne mit abgeschlossenem Wurzelwachstum zeigen keine Revaskularisation (KLING ET AL. 1986). Gemäss den Ausführungen im Teil 2 dieser Publikationsreihe (VON ARX ET AL. 2005) wird deshalb die sofortige Einleitung der Wurzelkanalbehandlung mit einer Ledermixeinlage zur Prävention von Wurzelresorptionen empfohlen. Andere Autoren empfehlen die Versorgung mittels extraoraler Wurzelspitzenresektion und retrograder Stiftinsertion (KIRSCHNER ET AL. 2002).

Ist die biologische Breite durch eine der obenerwähnten Methoden wiederhergestellt, werden die Zähne, wie bei «komplizierte Kronenfraktur, Kronenfraktur mit Pulpabeteiligung» beschrieben, rekonstruiert.

Prognose

Pulpa

Siehe bei «komplizierte Kronenfraktur, Kronenfraktur mit Pulpabeteiligung».

Rekonstruktion

Siehe bei «einfache Kronenfraktur, Kronenfraktur ohne Pulpabeteiligung».

Abstract

HÄNNI S, VON ARX T: *Injuries to permanent teeth – Part 4: Therapy of crown fractures* (in German). Schweiz Monatsschr Zahnmed 118: 737–746 (2008)

Diagnostic and therapeutic interventions following dental injuries are not part of the routine practice in the dental office. Quite often, these patients are emergency cases who seek treatment after normal office hours. The objective of this and the future papers is to present the current treatment concepts in dental traumatology at the School of Dental Medicine, University of Berne. The fruitful cooperation in the field of dental traumatology between the Department of Oral Surgery and Stomatology, and the Department of Conservative Dentistry (including pediatric dentistry and endodontology) is based on the interdisciplinary approach that has been established five years ago. Following discussion and evaluation of such treated cases, and considering current clinical and experimental references, the said concepts have been worked out. The present paper describes the therapeutic concepts of crown fractures.

Verdankung

Für die Anfertigung der schematischen Illustrationen danken wir Ueli Iff, Zeichner, Foto-Multimedia-Atelier, Zahnmedizinische Kliniken der Universität Bern, ganz herzlich.

Literatur

- AMIRI-JEZEH M, RATEITSCHAK E, WEIGER R, WALTER C: Der Einfluss von Restaurationsrändern auf die parodontale Gesundheit – eine Übersicht. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 116: 606–613 (2006)
- ANDREASEN F M, ANDRASEN J O, ANDERSSON L: Textbook and color atlas of traumatic injuries to the teeth. Munksgaard, Copenhagen, 219–256 (1994)
- ANDREASEN F M, DAUGAARD-JENSEN J, MUNKSGAARD E C: Reinforcement of bonded crown fractured incisors with porcelain veneers. *Endod Dent Traumatol* 7: 78–83 (1991)
- ANDREASEN F M, NØREN J G, ANDREASEN J O, ENGLISHARDTSEN S, LINDH-STROMBERG U: Long-term survival of fragment bonding in the treatment of fractured crowns: a multicenter clinical study. *Quintessence Int* 26: 669–681 (1995)
- ANDREASEN J O, ANDREASEN F M, SKEIE A, HJORTING-HANSEN E, SCHWARTZ O: Effect of treatment delay upon pulp and periodontal healing of traumatic dental injuries – a review article. *Dent Traumatol* 18: 116–128 (2002)
- AUSCHILL T M, ARWEILER N B, HELLWIG E, ZAMANI-ALAEI A, SCULEAN A: Erfolgsrate der direkten Pulpaüberkappung mit Kalziumhydroxid. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 113: 946–952 (2003)
- BONDEMARK L, KUROL J, HALLONSTEN A L, ANDREASEN J O: Attractive magnets for orthodontic extrusion of crown-root fractured teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 112: 187–193 (1997)
- BOUILLAGUET S, CIUCCHI B, HOLZ J: Potential risks for pulpal irritation with contemporary adhesive restorations: an overview. *Acta Med Dent Helv* 1: 235–243 (1996)
- BRANNSTROM M: The elicitation of pain in human dentine and pulp by chemical stimuli. *Arch Oral Biol* 7: 59–62 (1962)
- COSTA C A, GIRO E M, DO NASCIMENTO A B, TEIXEIRA H M, HEBLING J: Short-term evaluation of the pulpo-dentin complex response to a resin-modified glass-ionomer cement and a bonding agent applied in deep cavities. *Dent Mater* 19: 739–746 (2003)
- COSTA C A, HEBLING J, HANKS C T: Current status of pulp capping with dentin adhesive systems: a review. *Dent Mater* 16: 188–197 (2000)
- COX C F, BERGENHOLTZ G, HEYS D R, SYED S A, FITZGERALD M, HEYS R J: Pulp capping of dental pulp mechanically exposed to oral microflora: a 1–2 year observation of wound healing in the monkey. *J Oral Pathol* 14: 156–168 (1985)
- CVEK M: A clinical report on partial pulpotomy and capping with calcium hydroxide in permanent incisors with complicated crown fracture. *J Endod* 4: 232–237 (1978)
- CVEK M, CLEATON-JONES P E, AUSTIN J C, ANDREASEN J O: Pulp reactions to exposure after experimental crown fractures or grinding in adult monkeys. *J Endod* 8: 391–397 (1982)
- CVEK M, LUNDBERG M: Histological appearance of pulps after exposure by a crown fracture, partial pulpotomy, and clinical diagnosis of healing. *J Endod* 9: 8–11 (1983)
- DAKIN H: On the use of certain antiseptic substances in treatment of infected wounds. *British Medical Journal* 2: 318–320 (1915)
- DE BLANCO L P: Treatment of crown fractures with pulp exposure. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 82: 564–568 (1996)
- FARIK B, MUNKSGAARD E C, ANDREASEN J O: Fracture strength of fragment-bonded teeth. Effect of calcium hydroxide lining before bonding. *Am J Dent* 13: 98–100 (2000)
- FARIK B, MUNKSGAARD E C, ANDREASEN J O, KREIBORG S: Drying and rewetting anterior crown fragments prior to bonding. *Endod Dent Traumatol* 15: 113–116 (1999)
- FILIPPI A, POHL Y, VON ARX T: Decoronation of an ankylotized tooth for preservation of alveolar bone prior to implant placement. *Dent Traumatol* 17: 93–95 (2001)
- FRIEDMAN M J: A 15-year review of porcelain veneer failure – a clinician's observation. *Compend Contin Educ Dent* 19: 625–628 (1998)
- FUKS A B, BIELAK S, CHOSAK A: Clinical and radiographic assessment of direct pulp capping and pulpotomy in young permanent teeth. *Pediatr Dent* 4: 240–244 (1982)
- FUKS A B, COSACK A, KLEIN H, EIDELMAN E: Partial pulpotomy as a treatment alternative for exposed pulps in crown-fractured permanent incisors. *Endod Dent Traumatol* 3: 100–102 (1987)
- GARBEROGLIO R, BRANNSTROM M: Scanning electron microscopic investigation of human dentinal tubules. *Arch Oral Biol* 21: 355–362 (1976)
- GELBIER M J, WINTER G B: Traumatised incisors treated by vital pulpotomy: a retrospective study. *Br Dent J* 164: 319–323 (1988)
- GÖHRING K S, LEHNERT B, ZEHNDER M: Indikationsbereiche von MTA – eine Übersicht. Teil 1: Chemische, physikalische und biologische Eigenschaften von MTA. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 114: 143–153 (2004a)
- GÖHRING K S, LEHNERT B, ZEHNDER M: Indikationsbereiche von MTA eine Übersicht. Teil 2: Klinische Anwendung. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 114: 222–234 (2004b)
- HAFEZ A A, COX C F, TARIM B, OTSUKI M, AKIMOTO N: An in vivo evaluation of hemorrhage control using sodium hypochlorite and direct capping with a one- or two-component adhesive system in exposed nonhuman primate pulps. *Quintessence Int* 33: 261–272 (2002)
- HANKS C T, CRAIG R G, DIEHL M L, PASHLEY D H: Cytotoxicity of dental composites and other materials in a new in vitro device. *J Oral Pathol* 17: 396–403 (1988)
- HEITHERSAY G S: Combined endodontic-orthodontic treatment of transverse root fractures in the region of the alveolar crest. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 36: 404–415 (1973)
- HUGO B: Optimale Approximalkontakte. *Ästhetische Zahnmedizin* 3: 142–148 (2001)
- INGBER J S: Forced eruption: part II. A method of treating nonrestorable teeth-Periodontal and restorative considerations. *J Periodontol* 47: 203–216 (1976)
- KAKEHASHI S, STANLEY H R, FITZGERALD R J: The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 20: 340–349 (1965)
- KIMMES N S, OLSON T L, SHADY R S, LATTA M A: Effect of viscostat and viscostat plus on composite shear bond strength in the presence and absence of blood. *J Adhes Dent* 8: 363–366 (2006)
- KIRSCHNER H, FILIPPI A, POHL Y, EBESEDER K: Unfallverletzungen der Zähne. Schlütersche, Hannover (2002)
- KLING M, CVEK M, MEJARE I: Rate and predictability of pulp revascularization in therapeutically reimplanted permanent incisors. *Endod Dent Traumatol* 2: 83–89 (1986)
- LIM K C, KIRK E E: Direct pulp capping: a review. *Endod Dent Traumatol* 3: 213–219 (1987)
- LOGUERCIO A D, MENGARDA J, AMARAL R, KRAUL A, REIS A: Effect of fractured or sectioned fragments on the fracture strength of different reattachment techniques. *Oper Dent* 29: 295–300 (2004)
- LOVE R M: Bacterial penetration of the root canal of intact incisor teeth after a simulated traumatic injury. *Endod Dent Traumatol* 12: 289–293 (1996)
- MAGNE P, DOUGLAS W H: Optimization of resilience and stress distribution in porcelain veneers for the treatment of crown-fractured incisors. *Int J Periodontics Restorative Dent* 19: 543–553 (1999)
- MAGNE P, MAGNE M: Treatment of extended anterior crown fractures using Type IIIA bonded porcelain restorations. *J Calif Dent Assoc* 33: 387–396 (2005)
- MAGNE P, PERROUD R, HODGES J S, BELSER U C: Clinical performance of novel-design porcelain veneers for the recovery of coronal volume and length. *Int J Periodontics Restorative Dent* 20: 440–457 (2000)
- MALMGREN O, MALMGREN B, FRYKHOLM A: Rapid orthodontic extrusion of crown root and cervical root fractured teeth. *Endod Dent Traumatol* 7: 49–54 (1991)
- NIELSEN A, RAVN J J: (Treatment with silver nitrate in pedodontics). *Tandlaegebladet* 85: 417–419 (1981)
- O'KEEFE K L, PINZON L M, RIVERA B, POWERS J M: Bond strength of composite to astringent-contaminated dentin using self-etching adhesives. *Am J Dent* 18: 168–172 (2005)
- OLSBURGH S, JACOBY T, KREJCI I: Crown fractures in the permanent dentition: pulpal and restorative considerations. *Dent Traumatol* 18: 103–115 (2002)
- PAGLIARINI A, RUBINI R, REA M, CAMPESE M: Crown fractures: effectiveness of current enamel-dentin adhesives in reattachment of fractured fragments. *Quintessence Int* 31: 133–136 (2000)
- PAMEIJER C H, STANLEY H R: The disastrous effects of the "total etch" technique in vital pulp capping in primates. *Am J Dent* 11 Spec No: S45–54 (1998)
- PITT FORD T R, TORABINEJAD M, ABEDI H R, BAKLAND L K, KARIYAWASAM S P: Using mineral trioxide aggregate as a pulp-capping material. *J Am Dent Assoc* 127: 1491–1494 (1996)
- PONTORIERO R, CELENZA F, JR., RICCI G, CARNEVALE G: Rapid extrusion with fiber resection: a combined orthodontic-periodontic treatment modality. *Int J Periodontics Restorative Dent* 7: 30–43 (1987)
- RAVN J J: Follow-up study of permanent incisors with enamel fractures as a result of an acute trauma. *Scand J Dent Res* 89: 213–217 (1981)
- RAVN J J: Follow-up study of permanent incisors with complicated crown fractures after acute trauma. *Scand J Dent Res* 90: 363–372 (1982)
- REIS A, FRANCCI C, LOGUERCIO A D, CARRILHO M R, RODRIGUES FILHO L E: Re-attachment of anterior fractured teeth: fracture strength using different techniques. *Oper Dent* 26: 287–294 (2001)
- REIS A, KRAUL A, FRANCCI C, DE ASSIS T G, CRIVELLI D D, ODA M, LOGUERCIO A D: Re-attachment of anterior fractured teeth: fracture strength using different materials. *Oper Dent* 27: 621–627 (2002)
- REIS A, LOGUERCIO A D, KRAUL A, MATSON E: Reattachment of fractured teeth: a review of literature regarding techniques and materials. *Oper Dent* 29: 226–233 (2004)

- ROBERTSON A, ANDREASEN F M, ANDREASEN J O, NOREN J G:** Long-term prognosis of crown-fractured permanent incisors. The effect of stage of root development and associated luxation injury. *Int J Paediatr Dent* 10: 191–199 (2000)
- ROBERTSON A, ANDREASEN F M, BERGENHOLTZ G, ANDREASEN J O, MUNKSGAARD C:** Pulp reactions to restoration of experimentally induced crown fractures. *J Dent* 26: 409–416 (1998)
- ROBERTSON A, ROBERTSON S, NOREN J G:** A retrospective evaluation of traumatized permanent teeth. *Int J Paediatr Dent* 7: 217–226 (1997)
- RUCKTESCHLER H:** Studies on the results of capping of the dental pulp. *Zahnärztl Welt* 7: 165–167 (1952)
- SANARES A M, ITHAGARUN A, KING N M, TAY F R, PASHLEY D H:** Adverse surface interactions between one-bottle light-cured adhesives and chemical-cured composites. *Dent Mater* 17: 542–556 (2001)
- SCHROEDER H E:** *Orale Strukturbiologie*. Thieme, Stuttgart; New York (1992)
- SCHRÖDER A:** *Endodontie: Ein Leitfaden für Studium und Praxis*. Quintessenz (1981)
- SIMON J K, KELLY W H, GORDON D G, ERICKSEN G W:** Extrusion of endodontically treated teeth. *J Am Dent Assoc* 97: 17–23 (1978)
- SPINAS E:** Longevity of composite restorations of traumatically injured teeth. *Am J Dent* 17: 407–411 (2004)
- STALHANE I, HEDEGARD B:** Traumatized permanent teeth in children aged 7–15 years. *Sven Tandlak Tidskr* 68: 157–169 (1975)
- VAN MEERBEEK B, VAN LANDUYT K, DE MUNCK J, HASHIMOTO M, PEUMANS M, LAMBRECHTS P, YOSHIDA Y, INOUE S, SUZUKI K:** Technique-sensitivity of contemporary adhesives. *Dent Mater* J 24: 1–13 (2005)
- VON ARX T, CHAPPUIS V, HÄNNI S:** Verletzungen der bleibenden Zähne. Teil 2: Therapie der Dislokationsverletzungen. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 115: 1057–1073 (2005)
- WHO:** *Application of the International Classification of Diseases to Dentistry and Stomatology*. World Health Organization, Geneva, 238 (1995)
- WINDLEY W R, RITTER A, TROPE M:** The effect of short-term calcium hydroxide treatment on dentin bond strengths to composite resin. *Dent Traumatol* 19: 79–84 (2003)
- ZACHRISSON B U, SKOGAN O, HOYMYHR S:** Enamel cracks in debonded, debanded, and orthodontically untreated teeth. *Am J Orthod* 77: 307–319 (1980)
- ZADIK D, CHOSACK A, EIDELMAN E:** The prognosis of traumatized permanent anterior teeth with fracture of the enamel and dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 47: 173–175 (1979)