

Gabriel Krastl, Kerstin Galler, Till Dammaschke, Edgar Schäfer

Ist die Pulpotomie eine valide Behandlungsoption bei irreversibler Pulpitis?*

Wissenschaftliche Mitteilung der Deutschen Gesellschaft für Endodontologie und zahnärztliche Traumatologie (DGET)

Warum Sie diesen Beitrag lesen sollten?

Die vorliegende Wissenschaftliche Mitteilung der Deutschen Gesellschaft für Endodontologie und zahnärztliche Traumatologie (DGET) präsentiert den aktuellen Stand der Wissenschaft zu vitalerhaltenden Maßnahmen an Zähnen mit pulpanaher Karies und irreversibler Pulpitis.

Zusammenfassung: Nach derzeitigem Kenntnisstand sind vitalerhaltende Maßnahmen bei pulpanaher Karies nur an pulpa-vitalen Zähnen indiziert, die asymptomatisch sind oder allenfalls Symptome einer reversiblen Pulpitis aufweisen. Bei Vorliegen einer irreversiblen Pulpitis existiert mit der Wurzelkanalbehandlung nach Vitalexstirpation eine zuverlässige und etablierte Methode, die nach wie vor als Goldstandard angesehen werden sollte. Aktuell veröffentlichte klinische Studien zeigen jedoch, dass trotz Diagnose „irreversible Pulpitis“ nach partieller oder vollständiger Pulpotomie überraschend hohe Erfolgsquoten erzielt werden können. Dies stellt nicht nur derzeitige Konzepte zur Behandlung pulpitischer Zähne in Frage, sondern auch die aktuelle Nomenklatur pulpaler Erkrankungen. Zwar ist eine Übereinstimmung der Diagnosestellung „irreversible Pulpitis“ mit histologisch nachweisbaren Bereichen von bakteriell infiziertem oder bereits nekrotischem Gewebe evident, jedoch sind diese Bereiche in direktem örtlichem Bezug zur kariösen Läsion in der Kronenpulpa lokalisiert und betreffen nicht das gesamte Gewebe.

Bei der Pulpotomie wird entzündetes und somit stark blutendes Pulpagewebe vollständig und bis in das gesunde Restgewebe entfernt, um die Voraussetzungen für dessen Ausheilung zu schaffen. Bislang liegen 12 klinische Studien vor, die auf die Vitalerhaltung bei kariösen Zähnen mit irreversibler Pulpitis fokussieren. Der Behandlungserfolg nach Beobachtungszeiträumen von 1 bis 5 Jahren liegt in den meisten Studien zwischen 85 % und 95 %, unabhängig von Patientenalter und Art der Pulpotomie (partiell oder vollständig). Allerdings muss berücksichtigt werden, dass Langzeitstudien fehlen und die Aussagekraft einzelner Studien durch diverse qualitative Mängel limitiert ist. Dennoch kann aufgrund der derzeitigen Datenlage die Pulpotomie als valide Behandlungsoption bei irreversibler Pulpitis angesehen werden und kommt als Alternative zur Vitalexstirpation durchaus in Frage. Der Erfolg der Pulpotomie hängt, neben der korrekten Indikationsstellung, maßgeblich von der adäquaten Durchführung der erforderlichen Behandlungsschritte ab. Dazu gehört, neben dem aseptischen Behandlungskonzept mit konsequenter Anwendung von Kofferdam und sterilem Instrumentarium, auch die Verwendung von Vergrößerungshilfen, die ein ausreichend präzises Vorgehen bei der Amputation ermöglichen, die endodontische Fachkenntnis zur Beurteilung des exponierten Pulpagewebes, die Anwendung geeigneter Maßnahmen zur Desinfektion, die Abdeckung des Gewebes mit einem bioaktiven Material sowie die sofortige bakterien-dichte koronale Restauration.

Schlüsselwörter: partielle Pulpotomie; Pulpitis; Vitalerhaltung; vollständige Pulpotomie

Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie, Universitätsklinikum Würzburg: Prof. Dr. Gabriel Krastl
 Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie, Universitätsklinikum Regensburg: Prof. Dr. Kerstin Galler
 Poliklinik für Parodontologie und Zahnerhaltung, Universitätsklinikum Münster: Prof. Dr. Till Dammaschke
 Zentrale Interdisziplinäre Ambulanz, Universitätsklinikum Münster: Prof. Dr. Edgar Schäfer

*Deutsche Version der englischen Erstveröffentlichung Krastl G, Galler K, Dammaschke T, Schäfer E: Is pulpotomy a valid treatment option for irreversible pulpitis? Dtsch Zahnärztl Z Int 2021; 3: 80–87

Zitierweise: Krastl G, Galler K, Dammaschke T, Schäfer E: Ist die Pulpotomie eine valide Behandlungsoption bei irreversibler Pulpitis? Dtsch Zahnärztl Z 2021; 76: 114–122

Peer-reviewed article: eingereicht: 30.08.2020, revidierte Fassung akzeptiert: 12.10.2020

DOI.org/10.3238/dzz.2021.0011

Is pulpotomy a valid treatment option for irreversible pulpitis?

Summary: Based on the current state of knowledge, vital pulp treatment on teeth with deep carious lesions is indicated only in vital teeth which are asymptomatic, or at the most, show symptoms of reversible pulpitis. In cases of irreversible pulpitis, vital pulp extirpation and root canal treatment constitutes a reliable and established method that should still be considered the gold standard. However, recently published clinical studies show that, despite the diagnosis of "irreversible pulpitis", surprisingly high success rates can be achieved after partial or full pulpotomy. These findings do not only challenge the current treatment concepts for teeth affected by pulpitis, but also the current system for diagnosing different stages of the disease. Although the diagnosis of "irreversible pulpitis" is consistent with histologically detectable areas of bacterially infected or already necrotic tissue, these areas are localized beneath the carious lesion in the coronal pulp and do not affect the entire pulp tissue.

Pulpotomy involves the complete removal of inflamed, and therefore heavily bleeding, pulp tissue up to the level where the remaining pulp tissue is healthy in order to create the necessary conditions for healing. To date, a total of 12 clinical studies with a focus on vital pulp treatment in teeth with deep carious lesions and irreversible pulpitis have been published. Success rates after observation periods of 1 to 5 years range between 85 % and 95 % in most studies, regardless of patient age and type of pulpotomy (partial or full). However, it must be taken into account that long-term studies are lacking, and the significance of the individual studies is limited by various qualitative deficits. In spite of these shortcomings, based on the current data, pulpotomy can be regarded as a valid treatment option for irreversible pulpitis and it certainly represents an alternative to vital pulp extirpation. Whereas the correct indication is critical, the success of a pulpotomy procedure mainly relies on the adequate performance of the necessary treatment steps. This includes, in addition to the aseptic treatment concept in combination with the consistent use of rubber dam and sterile instruments, the use of magnifying aids to enable a sufficiently precise amputation procedure, the endodontic expertise to assess the exposed pulp tissue, the application of appropriate disinfection measures and capping of the tissue with a bioactive material followed by an immediate coronal seal.

Keywords: partial pulpotomy; pulpitis; vital pulp therapy; full pulpotomy

Einleitung

Die hohe Erfolgsrate korrekt durchgeführter Wurzelkanalbehandlungen ist durch zahlreiche Studien belegt. Dies gilt insbesondere für therapiebedürftige Zähne ohne präoperative apikale Parodontitis [45]. Obwohl nach Vitalexstirpation und Wurzelkanalbehandlung die Erfolgsraten nach etwa 5 Jahren bei 90 % liegen [22], tritt damit stets der vollständige Funktionsverlust des Pulpagewebes ein [18]. Auch resultieren daraus verschiedene Nachteile, wie die erhöhte

Frakturgefahr durch Substanzabtrag sowie morphologische und strukturelle Veränderungen des Dentins im Zuge der Behandlung und eine mögliche höhere maximale Belastung aufgrund des teilweisen Verlustes des propriozeptiven Schutzmechanismus [23, 36]. Weitere Probleme, die nach Wurzelkanalbehandlungen auftreten können, sind Zahnverfärbungen [29] sowie eine erhöhte Kariesanfälligkeit, bedingt durch eine erhöhte Plaqueanlagerung und veränderte Mikroflora [41] oder aufgrund der feh-

lenden Abwehrleistung des Pulpa-Dentin-Komplexes und des fehlenden Schmerzwarnsystems. Auch kann sich eine Wurzelkanalbehandlung als komplexer darstellen als zunächst angenommen, was den Erfolg der Behandlung maßgeblich beeinträchtigen kann. Bei endodontischem Misserfolg ist eine weitere zahnerhaltende Therapie (Revision oder Wurzelspitzenresektion) mit deutlich erhöhtem Aufwand verbunden.

Die genannten Probleme können vermieden werden, wenn es gelingt, die Pulpa vital zu erhalten. Verfahren zur Vitalerhaltung der Pulpa sind konservative Maßnahmen, die mit einem deutlich geringeren zeitlichen Aufwand durchführbar sind als eine Wurzelkanalbehandlung [6]. Bei korrekter Indikation und Durchführung sind vitalerhaltende Maßnahmen mit hohen Erfolgsraten verbunden [18] und langfristig kosteneffektiv [52, 63].

Darüber hinaus ist in der zahnmedizinischen Fachliteratur in den letzten Jahren ein deutlicher Trend zugunsten der Vitalerhaltung zu verzeichnen, der wissenschaftlich von verschiedenen zahnmedizinischen Fachrichtungen verfolgt wird [10, 18, 21, 51].

Für einen Überblick zu vitalerhaltenden Maßnahmen nach Pulpaexposition wird auf die wissenschaftliche Mitteilung der DGET „Aktuelle Empfehlungen zur Vitalerhaltung der Pulpa“ verwiesen [18].

Der vorliegende Beitrag fokussiert ausschließlich auf die Möglichkeiten der Vitalerhaltung nach teilweiser Entfernung von Pulpagewebe in Situationen, in denen nach bisheriger Auffassung die Pulpa nicht erhaltungsfähig erscheint und somit eine Wurzelkanalbehandlung indiziert ist. Somit wird hier die partielle Pulpotomie (Teilamputation der koronalen Pulpa) sowie die vollständige Pulpotomie (vollständige Amputation der koronalen aber Erhalt der radikulären Pulpa) diskutiert.

Unberücksichtigt bleiben vitalerhaltende Maßnahmen nach traumatischer Pulpaexposition (direkte Überkappung und partielle Pulpotomie nach komplizierter Kronenfraktur), da in solchen Situationen die Vitalerhaltung zwingend angestrebt werden sollte und auch mit hohem Erfolg vorhersagbar möglich ist

[24, 30]. Ebenfalls ausgeschlossen sind Fälle mit pulpanaher Karies an Zähnen ohne Hinweise auf eine irreversible Pulpitis, da diese ebenfalls keine primäre Indikation für eine Wurzelkanalbehandlung darstellen.

1. Biologischer Hintergrund für die Pulpotomie bei kariöser Exposition

Entzündliche Reaktionen entstehen im Pulpagewebe in der überwiegenden Zahl der Fälle durch mikrobielle Reize bedingt durch kariöse Läsionen, seltener nach traumatischer Schädigung, aber auch nach hinreichender mechanischer, thermischer oder chemischer Irritation. Je nach Intensität des Reizes kann die Entzündung ausheilen oder aber an Intensität zunehmen und akute oder chronische Verlaufsformen annehmen. Dabei breitet sich das Entzündungsgeschehen vom Ort der Reizeinwirkung ausgehend im Pulpagewebe aus. Dies bedingt, dass zum einen zeitgleich gesundes Gewebe neben von unterschiedlichen Ausprägungen der Entzündung betroffenem Gewebe vorliegen kann, zum anderen ergeben sich mit dem Fortschreiten des entzündlichen Prozesses ständig Veränderungen. In der Vergangenheit wurden verschiedene Klassifikationen entwickelt, um den Pulpastatus möglichst adäquat zu beschreiben, diese lassen sich im Wesentlichen in klinische und histologische einteilen. Dabei kann histologisch eine Vielzahl an Gewebeszuständen in der Pulpa beschrieben werden, während die klinische Diagnostik mit den derzeit verfügbaren Mitteln lediglich eine Einteilung in ein grobes Raster zulässt. Da der histopathologische Zustand der Pulpa klinisch nicht evaluiert werden kann, muss auf der Basis der Diagnosestellung ein Therapieentscheid abgeleitet werden. An den derzeit bestehenden Konsens, Pulpitiden klinisch in reversibel und irreversibel einzuteilen, wurde durch die AAE (American Association of Endodontists) festgehalten [1, 2]. Dabei wird die reversible Pulpitis diagnostiziert bei reizgebundenem Schmerz, die irreversible Pulpitis bei verstärkter Reaktion auf Sensibilitätsprobe in Kombination mit ausstrahlendem, reizüberdauerndem Schmerz oder Dauerschmerz, Spontanschmerz, Schmerz auf Wärme und möglicherweise unzu-

reichender Lokalisierbarkeit des schmerzauslösenden Zahnes durch den Patienten.

Nach derzeitigem Kenntnisstand sind vitalerhaltende Maßnahmen bei pulpanaher Karies nur an pulpa-vitalen Zähnen indiziert, die asymptomatisch sind oder allenfalls Symptome einer reversiblen Pulpitis aufweisen [21]. Dies gilt auch für die selektive Kariesexkavation [10]. Liegen bereits Hinweise auf eine irreversible Pulpitis vor, ist nach bisheriger Auffassung eine Ausheilung des Gewebes nach Entfernung des auslösenden Reizes nicht vorhersehbar möglich, weswegen vitalerhaltende Maßnahmen als kontraindiziert gelten. Überraschenderweise konnten etliche klinische Studien in den letzten Jahren hohe Behandlungserfolge nach partieller und vollständiger Pulpotomie bei vermuteter irreversibler Pulpitis zeigen [3–6, 31, 33, 39, 47, 56–58, 60]. Dies stellt die Eignung der aktuellen Nomenklatur pulpaler Erkrankungen, den Zustand der Pulpa adäquat zu beschreiben, ebenso in Frage wie deren klinische Relevanz [62]. Einige Untersuchungen legen nahe, dass der histologische Zustand der Pulpa mit der klinischen Diagnosestellung in vielen Fällen korreliert [15, 48], insbesondere bei gesunden Zähnen und solchen mit reversibler Pulpitis [48], bei der sich eine moderate chronische Entzündungsreaktion zeigt. Auch bei klinischer Diagnosestellung „irreversible Pulpitis“ können histologisch in der Mehrheit der Fälle tatsächlich nekrotische und bakteriell infizierte Pulpabereiche nachgewiesen werden. Weiterhin kommt es in Anwesenheit von Bakterien im Pulpakavum zu Mikroabszessen und Gewebnekrosen, die von polymorphkernigen neutrophilen Granulozyten gesäumt sind. In der Peripherie finden sich entzündliche Infiltrate [48]. Jedoch betreffen diese Gewebnekrosen nicht die gesamte Pulpa, sondern beschränken sich örtlich auf die der kariösen Läsion benachbarten Areale, während die Wurzelpulpa bis auf einen partiellen Verlust des Odontoblastensaums weitgehend unverändert erscheint [48, 50]. Somit ist der Begriff der irreversiblen Pulpitis irreführend, da die klinische Diagnosestellung nicht mit der Fähigkeit des Gewebes, nach therapeutischer Intervention auszuheilen, gleichgesetzt

werden kann. Vitales Gewebe kann im Wurzelkanal selbst bei radiologisch erkennbarer initialer periapikaler Läsion noch vorhanden sein, wobei diese als lokale, durch Entzündungsmediatoren ausgelöste Immunantwort im periapikalen Gewebe angesehen wird [55] und somit keine absolute Kontraindikation für vitalerhaltende Maßnahmen darstellt [56].

Eine irreversible Pulpitis kann aber auch vollkommen asymptomatisch ablaufen. Zähne, die histologisch die oben beschriebene Immunreaktion zeigten, waren laut Datenlage in 14–60 % der Fälle klinisch symptomfrei [42, 53]. In 15,6 % der Fälle stimmten klinische und histologische Diagnose nicht überein [48]. Darüber hinaus besteht nicht notwendigerweise ein signifikanter Zusammenhang zwischen spontanen Schmerzen vor der Behandlung, die eine irreversible Pulpitis vermuten lassen, und dem Erfolg einer vitalerhaltenden Maßnahme [40]. Bei der Diagnosestellung „irreversible Pulpitis“ muss zudem berücksichtigt werden, dass Schmerzempfindung immer subjektiv ist, nicht mit dem Ausmaß der Entzündung korreliert und sich nicht histologisch nachweisen lässt. Die Behandlung der Pulpitis sollte sich somit am Ausmaß der bakteriellen Infektion orientieren, das leider aufgrund der unzureichenden Korrelation zwischen Symptomatik und histologischem Befund in der klinischen Situation nicht genau bestimmt werden kann.

Es besteht jedoch eine gute Korrelation zwischen der Tiefe der bakteriellen Penetration in das Dentin und der histologisch nachweisbaren Reaktion der Pulpa auf eine kariöse Läsion [38]. Die klinische Einteilung des Beschwerdebilds im Sinne einer reversiblen oder irreversiblen Pulpitis sagt daher wenig über die Regenerationsfähigkeit des Gewebes aus [11]. Die Beurteilung der Blutungen des Gewebes nach Pulpalexposition ist dagegen ein zuverlässigeres Diagnoseverfahren als die Sensibilitätsprobe und die Schmerzsymptomatik. Bei oberflächlichen Entzündungen tritt nur eine schwach ausgeprägte Blutung auf (V.a. reversible Pulpitis). Kommt es aber zur Penetration von Bakterien tiefer in das Pulpagewebe hinein, resultieren ausgeprägtere Entzündungsreaktionen, die Blutung aus

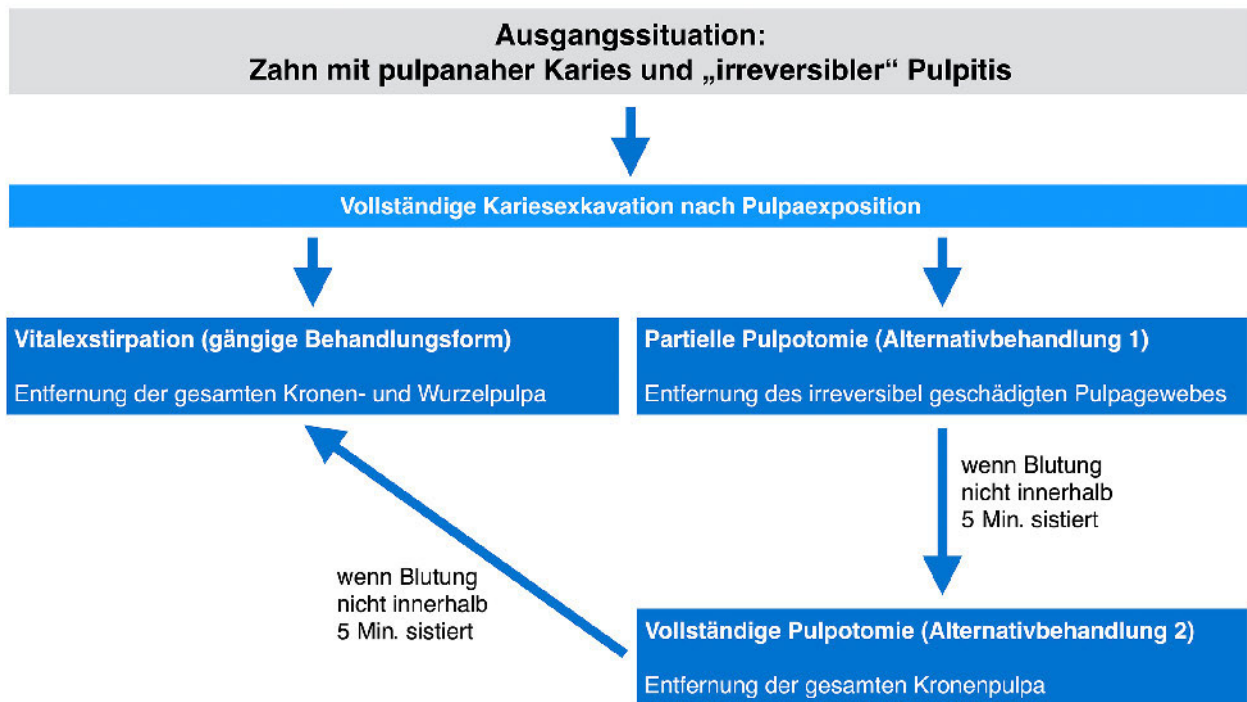


Abbildung 1 Therapiemöglichkeiten bei irreversibler Pulpitis

dem Gewebe ist somit stärker (V.a. „irreversible Pulpitis“). Pulpablutungen können daher den Grad der Entzündung ebenso widerspiegeln wie die Chance auf Heilung, die bei starker oder anhaltender Blutung als Anzeichen der entzündlichen Schädigung der entsprechenden Gewebsanteile signifikant verringert ist [14, 28, 34, 40]. Entzündetes und stark blutendes Pulpagewebe muss bei einer Pulpotomie somit vollständig und bis in das gesunde Restgewebe entfernt werden, um die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Vitalerhaltung zu schaffen. Aber analog wie beispielsweise bei einer akuten Infektion im Bereich des Fingernagels, bei der eine gezielte Exzision des infizierten Gewebes und nicht die Amputation des ganzen Fingers erfolgt [35], wäre auch bei einer Pulpitis die ausschließliche Exzision der irreversibel geschädigten Pulpaareale naheliegend.

Im Rahmen der Schmerzbehandlung bei irreversibler Pulpitis ist die Pulpotomie eine seit Jahrzehnten etablierte Notfallmaßnahme. Zwei aktuelle randomisierte kontrollierte Studien zeigen, dass die Schmerzbeseitigung durch eine Pulpotomie vergleichbar zuverlässig erfolgt wie nach Vitalexstirpation [19, 20]. Die deutlich zeitaufwän-

digere Wurzelkanalbehandlung mit chemomechanischer Aufbereitung kann so zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen. Die Überlegung, eine Pulpotomie in solchen Fällen nicht nur als temporäre Maßnahme, sondern als definitive endodontische Behandlung einzusetzen ist nicht neu und reicht weit ins letzte Jahrhundert [12]. Allerdings wurde dieses Thema erst in den letzten Jahren auf der Grundlage neuer Erkenntnisse aus dem Bereich der Pulpbiologie einerseits und der Einführung neuer bioaktiver Materialien andererseits intensiver erforscht [54].

Zusätzlich entstand in Ländern, in denen Wurzelkanalbehandlungen der breiten Öffentlichkeit aus Kostengründen nicht zugänglich sind, die Überlegung, die Pulpotomie als weniger aufwändige Alternative einzusetzen und so die ansonsten notwendige Extraktion zu vermeiden [3, 63]. Tatsächlich ist die Behandlungszeit bei der Pulpotomie im Vergleich zur Wurzelkanalbehandlung auf etwa ein Drittel reduziert [6].

2. Klinische Durchführung der Pulpotomie bei kariöser Exposition

Ausgangspunkt für die Durchführung der Pulpotomie ist die Exposition der

Pulpa im kariösen Dentin und/oder eine Symptomatik im Sinne einer irreversiblen Pulpitis (Abb. 1). Der Zahn wird mit Kofferdam isoliert und die klinische Krone desinfiziert. Die vollständige Kariesexkavation wird von peripher nach zentral durchgeführt, idealerweise unter Verwendung optischer Vergrößerungshilfen. Anschließend erfolgt die erste Beurteilung des Pulpagewebes an der Expositionsstelle. Häufig finden sich infizierte Dentinspäne, die während der Exkavation in das Pulpagewebe transportiert wurden. Hyperämische und nekrotische Pulpa-bereiche können aneinandergrenzen, wobei eine blass-gelbliche Farbe auf die fehlende Blutzirkulation und eine Nekrose hindeuten. Gelegentlich finden sich Mikroabszesse [49]. Ziel der Pulpotomie ist es nun, geschädigte Gewebeanteile zu entfernen und bis in die gesunde Pulpa hinein zu amputieren. Hierfür wird ein hochtourig rotierender diamantierter Schleifkörper unter Wasserkühlung eingesetzt.

Technisch ist die Durchführung der vollständigen (= zervikalen) Pulpotomie (engl. „full pulpotomy“ oder „pulp chamber pulpotomy“) am einfachsten durchführbar, da der Endpunkt der Amputation durch die Wurzelkanäleingänge klar definiert ist. Da

insgesamt deutlich mehr Gewebe entfernt wird als bei einer partiellen Pulpotomie, ist die Wahrscheinlichkeit erhöht, ausschließlich gesundes und regenerationsfähiges Gewebe zu hinterlassen, was sich in einer hohen Erfolgsaussicht niederschlägt. Allerdings bringt dieses Verfahren auch Nachteile mit sich. So ist der Sensibilitätstest im Rahmen der klinischen Nachuntersuchungen nicht aussagekräftig und der Behandlungserfolg lediglich radiologisch beurteilbar – mit den entsprechenden Limitationen. Ferner ist – im Gegensatz zur partiellen Pulpotomie – das Risiko für eine Obliteration der Wurzelkanäle nach vollständiger Pulpotomie erhöht [18].

Vor diesem Hintergrund sollte sich das Ausmaß der Amputation an der Tiefe, in der gesundes Pulpagewebe mit geringer Blutungsneigung und rasch stillbarer Blutung identifiziert werden kann, ausgerichtet sein. Während nach traumabedingter Pulpaexposition und anschließendem Kontakt zum oralen Milieu, entzündliche Pulpaveränderungen auch nach bis zu 7 d, auf die koronalen 2 mm beschränkt bleiben [17, 26], ist die Tiefe der Gewebsdestruktion durch einen kariösen Prozess deutlich variabler. Dabei ist eine zuverlässige Beurteilung des Gewebszustandes nur mit ausreichender Vergrößerung und Beleuchtung möglich.

Zur Spülung und Desinfektion der Amputationsstelle wird Natriumhypochlorit (NaOCl) empfohlen, wobei unter Verwendung der in der Endodontie üblichen 1–5,25%igen Lösungen die Konzentration kein prognostisch entscheidender Faktor zu sein scheint [43]. Die vorsichtige Kompression mit einem mit NaOCl getränktem Wattepellet kann die weitere Blutstillung erleichtern. Die Verwendung eines Hämostyptikums wird nicht empfohlen, da es den wahren Entzündungszustand der Pulpa „maskieren“ würde [64]. Ebenso wenig wird aufgrund fehlender Evidenz der Einsatz eines Lasers empfohlen. In einer jüngeren randomisierten kontrollierten Studie konnte für die zusätzliche Verwendung eines Er,Cr:YSGG-Lasers bei der Pulpotomie nach kariöser Exposition an asymptomatischen wurzelunreifen Zähnen ein Vorteil nicht festgestellt werden [59].

Nach Amputation und Spülung ist von einem Sistieren der Blutung innerhalb von 5 min auszugehen. Diese Zeitangabe liefert jedoch lediglich einen groben Richtwert, da in einzelnen Untersuchungen auch deutlich längere Blutungszeiten (15 min und länger) noch zu einem Behandlungserfolg geführt haben [47]. Eine persistierende Blutung weist darauf hin, dass die Pulpa nicht bis auf ein gesundes Niveau reduziert wurde [64]; in diesem Fall kann eine tiefere Pulpotomie bis hin zur vollständigen Pulpotomie als letztmögliche vitalerhaltende Maßnahme erwogen werden. Zwar existieren Berichte über erfolgreiche tiefere Pulpotomien in der Literatur, bei denen die Amputationsstelle bis zu mehreren Millimetern unterhalb der Wurzelkanaleingänge lag, allerdings ist aus Sicht der Autoren – zumindest bei Zähnen mit abgeschlossenem Wurzelwachstum – kein entscheidender Vorteil im Vergleich zu einer Vitalexstirpation erkennbar.

Auf die freiliegende Pulpaoberfläche wird eine wässrige Kalziumhydroxid-Suspension oder bevorzugt ein hydraulischer Kalziumsilikatzement aufgebracht und lokal mit einem erhärtenden Material dünn überschichtet [16]. Während mittlerweile klare Hinweise für die Überlegenheit hydraulischer Kalziumsilikatzemente im Vergleich zu Kalziumhydroxid bei vitalerhaltenden Maßnahmen nach kariöser Pulpaexposition vorliegen [13, 27, 32, 37, 58], scheinen innerhalb der Gruppe der Kalziumsilikatzemente selbst – bis auf das zu berücksichtigende Diskolorationspotenzial – keine klinisch entscheidenden Unterschiede zu existieren [37]. Von der Anwendung lichtpolymerisierbarer fließfähiger Materialien mit MTA-Zusatz in direktem Kontakt zur Pulpa muss aufgrund der eingeschränkten Biokompatibilität dieser Materialien abgeraten werden [7, 46]. Die adhäsive, bakteriendichte Restauration schließt sich an, diese nimmt maßgeblich Einfluss auf den Behandlungserfolg.

3. Evidenzlage zur Erfolgssicherheit vitalerhaltender Maßnahmen bei irreversibler Pulpitis und mögliche Einflussfaktoren

Im Vergleich zu Zähnen mit traumatischer Schädigung ist nach kariöser

Exposition von einer deutlichen Vorschädigung der Pulpa durch den bereits seit mehr oder weniger langer Zeit bestehenden Kontakt zu bakteriellen Toxinen oder sogar den Bakterien selbst auszugehen. Dabei wirken sich Läsionsgröße, Keimspektrum sowie Geschwindigkeit des Fortschreitens der Läsion auf den Pulpastatus aus [18]. Daher wäre zu erwarten, dass die hohen Erfolgsraten von über 90 % nach partieller Pulpotomie an Zähnen mit komplizierter Kronenfraktur [24] deutlich über denjenigen nach kariöser Pulpaexposition liegen. Bislang existieren aber mehr als 10 klinische Studien, die auf die Vitalerhaltung kariöser Zähne mit Diagnosestellung „irreversible Pulpitis“ fokussieren und ebenfalls eine hohe Erfolgssicherheit dokumentieren (Tab. 1). Der Behandlungserfolg nach Beobachtungszeiträumen von 1 bis 5 Jahren liegt in den meisten Studien zwischen 85 % und 95 %, unabhängig davon, ob eine partielle oder eine vollständige Pulpotomie vorgenommen wurde.

Obwohl die Hälfte der Untersuchungen randomisierte kontrollierte Studien sind und damit in der Hierarchie der Evidenzlevel an der obersten Stufe aller Primärstudien stehen, muss berücksichtigt werden, dass selbst dieser Studientyp nur bei methodisch korrekter und der Fragestellung angemessener Planung, Durchführung und Auswertung belastbare Ergebnisse generieren kann. Insgesamt ist die Aussagekraft einzelner Studien durch diverse qualitative Mängel, wie eine fehlende Verblindung der Untersucher sowie durch ungenau und uneinheitlich definierte Erfolgskriterien, limitiert [8]. Ein Behandlungserfolg nach Pulpotomie wird in den meisten Studien dann angenommen, wenn weder klinische noch radiologische Hinweise auf eine Pulpanekrose vorliegen. Allerdings ist der tatsächliche Zustand der verbliebenen Pulpa nur schwer beurteilbar. Die fehlende Reaktion auf Sensibilitätstests ist zumindest bei der vollständigen Pulpotomie der Behandlung geschuldet und kann nicht als Misserfolgskriterium gewertet werden. Da als häufigste Misserfolgsursache nach Pulpotomie aber eine asymptomatische apikale Parodontitis angenommen wird [31], muss davon ausgegangen wer-

Studie	Studien- typ	Patienten- alter	Anzahl behand- elter Zähne	Initiale Pulpdiag- nose	Beobach- tungs- zeitraum	Maß- nahme	Überkap- pungs- material	Erfolg	Einfluss Alter
(Asgary & Eghbal 2013)	RCT	9–65 Jahre ø 27 Jahre	413	Irreversible Pulpitis	1 Jahr	Vollst. P.	CEM MTA	92 % (CEM) 95 % (MTA)	k.A.
(Asgary & Eghbal 2014)	RCT	9–65 Jahre	407	Irreversible Pulpitis	2 Jahre	Vollst. P. VitE.	CEM	86 % (Zerv. P.) 80 % (VitE)	k.A.
(Asgary et al. 2015)	RCT	9–65 Jahre	407	Irreversible Pulpitis	5 Jahre	Vollst. P. VitE.	CEM	71 % (Zerv. P.) 66 % (VitE)	kein Einfluss
Kunert et. Al 2015	Retrosop.	8–79 Jahre	273	Nicht expli- zit angege- ben aber zur WKB überwiesen	5 Jahre (1–29 Jahre)	Vollst. P.	KH	89 % (1 Jahr) 63 % (10 Jah- re)	kein Einfluss
Kumar et al 2016	RCT	14–32	54	Irreversible Pulpitis	1 Jahr	Vollst. P.	MTA KH PRF+MTA	44 % (MTA) 38 % (KH) 36 % (PRF+MTA)	k.A.
(Taha, Ah- mad et al. 2017)	Prosp.	11–51 Jahre	52	Irreversible Pulpitis (> 80 %)	3 Jahre	Vollst. P.	MTA	92,7 %	kein Einfluss
(Qudeimat et al. 2017)	Prosp.	7–13 Jahre ø 10,7 Jah- re	23	Irreversible Pulpitis	5 Jahre (19–74 Monate)	Vollst. P.	MTA	100 %	k.A.
(Linsuwa- nont et al. 2017)	Retrosop.	7–68 Jahre ø 29 Jahre	55	Irreversible Pulpitis	3 Jahre (8–62 Monate)	Vollst. P.	MTA	84 %	kein Einfluss
Asgary, Eghbal 2017	RCT	9–65 Jahre	412	Irreversible Pulpitis	5 Jahre	Vollst. P.	MTA CEM	85 % (MTA) 78 % (CEM)	kein Einfluss
Taha, Kha- zali et al. 2017)	RCT	20–52 Jahre ø 30 Jahre	50	Irreversible Pulpitis	2 Jahre	Part. P.	MTA KH	85 % (MTA) 43 % (KH)	k.A.
Taha et al 2018	Prosp.	19–69 Jahre	52	Irreversible Pulpitis	1 Jahr	Vollst. P.	Biod.	98 %	k.A.
Uesrichai et al 2019	RCT	6–18 Jahre ø 10 Jahre	69	Irreversible Pulpitis	32,2 ± 17,9 Monate	Part. P.	MTA Biod.	92 % (MTA) 87 % (Biod.)	k.A.

(Allgemeine Abkürzungen: RCT = randomisierte kontrollierte Studie; Retrosop. = Restrospektive klinische Studie; Prosp. = Prospektive klinische Studie; Part. P. = partielle Pulpotomie; Vollst. P. = Vollständige Pulpotomie; k.A. = keine Angaben; KH = Kalziumhydroxid; PRF = platelet-rich fibrin; **Abkürzungen der hydraulischen Kalziumsilikatzemente:** MTA = Mineral Trioxid Aggregate; CEM = Calcium Enriched Mixture; Biod. = Biodentine)

Tabelle 1 Übersicht der klinischen Studien zu vitalerhaltenden Maßnahmen an bleibenden Zähnen mit „irreversibler Pulpitis“.

(Abb. 1 und Tab. 1: G. Krastl)

den, dass eine Pulpanekrose zunächst unerkannt bleibt und erst bei Vorliegen einer radiologisch sichtbaren apikalen Parodontitis als Misserfolg gewertet wird. Daher sind gerade in diesem Bereich Langzeitstudien über mehr als 5 Jahre dringend erforderlich, da der Erfolg der Pulpotomie bei irreversibler Pulpitis bisher nur klinisch, nicht aber histologisch belegt ist.

Eine randomisierte kontrollierte Multicenter-Studie zum direkten Vergleich von Pulpotomie und Wurzelkanalbehandlung bei Zähnen mit irreversibler Pulpitis konnte einen signifikanten Unterschied zwischen beiden Therapievarianten (Vitalexstirpation versus Pulpotomie) nicht feststellen [5]. Allerdings liegt der ermittelte Erfolg für die Wurzelkanalbehandlung nach Vitalexstirpation mit 66 % nach 5 Jahren in dieser Studie deutlich niedriger als die mit über 90 % angegebenen Erfolgsraten in anderen Studien [22]. Darüber hinaus erscheint auch ein Vergleich der Erfolgssicherheit zwischen Pulpotomie und Wurzelkanalbehandlung wenig sinnvoll, da bei Misserfolg unterschiedliche Voraussetzungen für den weiteren Zahnerhalt gegeben sind. Während sich bei einem Misserfolg nach Pulpotomie die Wurzelkanalbehandlung anschließt, ist bei der endodontischen Sekundärbehandlung und orthograden Revision von deutlich reduzierten Erfolgsraten auszugehen.

Unter den möglichen Einflussfaktoren für die Prognose vitalerhaltender Maßnahmen ist das Patientenalter ein häufig diskutierter Faktor. Günstige Voraussetzungen für die Vitalerhaltung sind bei jungen Patienten gegeben, bei denen das Gewebe ein höheres Regenerationspotenzial aufweist, insofern eine Vorschädigung der Pulpa nicht vorliegt [61]. Insbesondere wurzelunreife Zähne profitieren am meisten von einem vitalen, zur Hartsubstanzapposition fähigen Pulpagewebe. So kann das Wurzelwachstum zum Abschluss kommen. Mit zunehmendem Alter ist mit einer reduzierten Regenerationsfähigkeit durch Pulpaänderungen im Sinne einer zellärmeren und faserreicheren Pulpa zu rechnen [25, 44]. Trotzdem scheint das Patientenalter keinen entscheidenden Einfluss auf den Behandlungserfolg zu haben: In den vorliegenden

klinischen Studien zu vitalerhaltenden Maßnahmen an bleibenden Zähnen bei irreversibler Pulpitis wurden Patienten bis zu einem Lebensalter von 79 Jahren eingeschlossen (Tab. 1).

Unbeantwortet bleibt die Frage, ob die (Teil-)vitalerhaltung nach Pulpotomie die Prognose der behandelten Zähne im Vergleich zur Vitalexstirpation mit anschließender Wurzelkanalbehandlung tatsächlich erhöht. Dies wäre vor allem dann gegeben, wenn – unter der Voraussetzung der langfristigen Vitalerhaltung – eine erhöhte Frakturanfälligkeit nicht eintritt. Die hierzu notwendigen Langzeitdaten liegen nicht vor. Allerdings kann gemutmaßt werden, dass die Bedingungen nach partieller Pulpotomie mit Erhalt des größten Teils der koronalen Pulpa aus biomechanischer Sicht eher einem pulpa-vitalen Zahn ohne endodontische Intervention entsprechen als ein Zahn, der nach vollständiger Pulpotomie ausschließlich vitale Pulpastümpfe enthält.

Fazit

Aus Patientensicht ist bei der Behandlung von Zähnen mit pulpanaher Karies und irreversibler Pulpitis die Therapieform zu wählen, die den betroffenen Zahn mit der höchsten Wahrscheinlichkeit langfristig symptomfrei sowie das periradikuläre Gewebe gesund erhält. Hierfür existiert mit der Wurzelkanalbehandlung nach Vitalexstirpation eine zuverlässige und etablierte Methode, die zweifelsfrei nach wie vor als Goldstandard angesehen werden sollte. Im Vergleich dazu ist die Evidenz für vitalerhaltende Maßnahmen bei Zähnen mit irreversibler Pulpitis bis dato noch überschaubar, insbesondere fehlen diesbezügliche Langzeitdaten.

Dennoch kann aufgrund der derzeitigen Datenlage die Pulpotomie als valide Behandlungsoption bei irreversibler Pulpitis angesehen werden und kommt als Alternative zur Vitalexstirpation durchaus in Frage [37]. Im Kontext der Behandlungskonzepte bei pulpitischen Erkrankungen sei auch auf die Fehlerhaftigkeit der derzeitigen Terminologie hingewiesen. Eine präzisere und therapiel leitende Einteilung, die die Möglichkeiten zum Gewebeerhalt mit abbildet, wäre wünschenswert.

Der Erfolg einer (partiellen oder vollständigen) Pulpotomie hängt ne-

ben der korrekten Indikationsstellung maßgeblich davon ab, ob die erforderlichen Maßnahmen adäquat durchgeführt werden. Hierzu gehört ein aseptisches Behandlungskonzept unter konsequenter Anwendung von Kofferdam und sterilem Instrumentarium, der Gebrauch adäquater Vergrößerungshilfen, um die Pulpaamputation präzise durchführen zu können, spezifisches endodontisches Wissen, um den Zustand des exponierten Pulpagewebes beurteilen zu können, die Desinfektion und Abdeckung des Gewebes mit einem geeigneten bioaktiven Material sowie eine sofortige bakteriendichte koronale Restauration. Aktuelle Daten zeigen, dass Abweichungen von diesen Anforderungen den Erfolg sämtlicher vitalerhaltender Maßnahmen nach Pulpaexposition deutlich senken [9].

Da jeder Zahnarzt mit der Pulpotomie als Notfallbehandlung bei irreversibler Pulpitis ohnehin vertraut sein sollte, wäre es nur ein weiterer Schritt, die Pulpotomie bei Bedarf und korrekter Indikationsstellung auch als definitive Maßnahme (unter Voraussetzung des notwendigen zusätzlichen Aufwandes) neben der Wurzelkanalbehandlung zu etablieren. Dies gilt insbesondere für junge Patienten mit wurzelunreifen Zähnen, die langfristig am meisten von einer Vitalerhaltung der Pulpa profitieren.

Allerdings ist der Aufwand in Verbindung mit einer korrekt durchgeführten (partiellen oder vollständigen) Pulpotomie als definitive Maßnahme im Abrechnungskatalog leider nicht ausreichend abgebildet.

Die vorliegende Wissenschaftliche Mitteilung basiert auf dem aktuellen Stand der Wissenschaft. Da es sich um ein aktives Forschungsgebiet handelt, sind für die Zukunft bei Bedarf Aktualisierungen geplant.

Interessenkonflikte

Till Dammaschke gibt an, dass er Honorare der Firma Septodont für Vorträge erhalten hat. Die Autoren G. Krastl, K. Galler und E. Schäfer erklären, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Literatur

1. American Association of Endodontists: AAE Consensus conference recommended diagnostic terminology. *J Endod* 2007; 35: 1634
2. American Association of Endodontists: Glossary of endodontic terms. 10th Edition. 2020. (<https://www.aae.org/specialty/clinical-resources/glossary-endodontic-terms/>)
3. Asgary S, Eghbal MJ: Treatment outcomes of pulpotomy in permanent molars with irreversible pulpitis using bio-materials: a multi-center randomized controlled trial. *Acta Odontol Scand* 2013; 71: 130–136
4. Asgary S, Eghbal MJ, Bagheban AA: Long-term outcomes of pulpotomy in permanent teeth with irreversible pulpitis: a multi-center randomized controlled trial. *Am J Dent* 2017; 30: 151–155
5. Asgary S, Eghbal MJ, Fazlyab M, Baghban AA, Ghoddsi J: Five-year results of vital pulp therapy in permanent molars with irreversible pulpitis: a non-inferiority multicenter randomized clinical trial. *Clin Oral Investig* 2015; 19: 335–341
6. Asgary S, Eghbal MJ, Ghoddsi J: Two-year results of vital pulp therapy in permanent molars with irreversible pulpitis: an ongoing multicenter randomized clinical trial. *Clin Oral Investig* 2014; 18: 635–641
7. Bakhtiar H, Nekoofar MH, Aminihakib P et al.: Human pulp responses to partial pulpotomy treatment with TheraCal as compared with Biodentine and ProRoot MTA: a clinical trial. *J Endod* 2017; 43: 1786–1791
8. Bjørndal L: Is pulpotomy preferable to root treatment where there is pulp exposure? *Evid Based Dent* 2019; 20: 117–118
9. Bjørndal L, Fransson H, Bruun G et al.: Randomized clinical trials on deep carious lesions: 5-year follow-up. *J Dent Res* 2017; 96: 747–753
10. Buchalla W, Frankenberger R, Galler KM et al.: Aktuelle Empfehlungen zur Kariesexkavation. Wissenschaftliche Mitteilung der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung (DGZ). *Dtsch Zahnärztl Z* 2017; 72: 484–494
11. Bürklein S, Sabandal M, Dammaschke T: Pulpa: Beurteilung von Vitalität und Sensibilität. *Zahnmedizin up2date* 2019; 13: 355–369
12. Chatterton DB: Pulp curettage. *J Am Dent Assoc* 1952; 45: 462–465
13. Cho SY, Seo DG, Lee SJ, Lee J, Lee SJ, Jung IY: Prognostic factors for clinical outcomes according to time after direct pulp capping. *J Endod* 2013; 39: 327–331
14. Christensen GJ: Pulp capping 1998. *J Am Dent Assoc* 1998; 129: 1297–1299
15. Cisneros-Cabello R, Segura-Egea JJ: Relationship of patient complaints and signs to histopathologic diagnosis of pulpal condition. *Aust Endod J* 2005; 31: 24–27
16. Cohenca N, Paranjpe A, Berg J: Vital pulp therapy. *Dent Clin North Am* 2013; 57: 59–73
17. 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
18. Dammaschke T, Galler KM, Krastl G: Aktuelle Empfehlungen zur Vitalerhaltung der Pulpa. *Dtsch Zahnärztl Z* 2019; 74: 54–63
19. Eghbal MJ, Haeri A, Shahravan A et al.: Postendodontic pain after pulpotomy or root canal treatment in mature teeth with carious pulp exposure: a multicenter randomized controlled trial. *Pain Res Manag* 2020; 2020: 5853412
20. Eren B, Onay EO, Ungor M: Assessment of alternative emergency treatments for symptomatic irreversible pulpitis: a randomized clinical trial. *Int Endod J* 2018; 51 (Suppl 3): e227–e237
21. Duncan HF, Galler KM, Tompson PL et al.: European Society of Endodontology position statement: management of deep caries and the exposed pulp. *Int Endod J* 2019; 52: 923–934
22. Friedman S, Abitbol S, Lawrence HP: Treatment outcome in endodontics: the Toronto study. Phase 1: initial treatment. *J Endod* 2003; 29: 787–793
23. Fuss Z, Lustig J, Katz A, Tamse A: An evaluation of endodontically treated vertical root fractured teeth: impact of operative procedures. *J Endod* 2001; 27: 46–48
24. Galler KM, Dammaschke T, Krastl G: Vitalerhaltung der Pulpa nach Trauma. *Die Quintessenz* 2019; 70: 1042–1048
25. Goodis HE, Kahn A, Simon S: Aging and the pulp. In: Hargreaves K, Goodis HE, Tay F (Hrsg): *Seltzer and Bender's dental pulp*. Quintessenz, Berlin 2012
26. Heide S, Mjør IA: Pulp reactions to experimental exposures in young permanent monkey teeth. *Int Endod J* 1983; 16: 11–19
27. Hilton TJ, Ferracane JL, Mancl L: Northwest practice-based research collaborative in evidence-based D. Comparison of CaOH with MTA for direct pulp capping: a PBRN randomized clinical trial. *J Dent Res* 2013; 92: 16S–22S
28. Kang CM, Sun Y, Song JS et al.: A randomized controlled trial of various MTA materials for partial pulpotomy in permanent teeth. *J Dent* 2017; 60: 8–13
29. Krastl G, Allgayer N, Lenherr P, Filippi A, Taneja P, Weiger R: Tooth discoloration induced by endodontic materials: a literature review. *Dent Traumatol* 2013; 29: 2–7
30. Krastl G, Weiger R: Vital pulp therapy after trauma. *ENDO (Lond Engl)* 2014; 8: 293–300
31. Kumar V, Juneja R, Duhan J, Sangwan P, Tewari S: Comparative evaluation of platelet-rich fibrin, mineral trioxide aggregate, and calcium hydroxide as pulpotomy agents in permanent molars with irreversible pulpitis: a randomized controlled trial. *Contemp Clin Dent* 2016; 7: 512–518
32. Kundzina R, Stangvaltaite L, Eriksen HM, Kerosuo E: Capping carious exposures in adults: a randomized controlled trial investigating mineral trioxide aggregate versus calcium hydroxide. *Int Endod J* 2017; 50: 924–932
33. Kunert GG, Kunert IR, da Costa Filho LC, de Figueiredo JAP: Permanent teeth pulpotomy survival analysis: retrospective follow-up. *J Dent* 2015; 43: 1125–1131
34. Langeland K: Management of the inflamed pulp associated with deep carious lesion. *J Endod* 1981; 7: 169–181
35. Langer M, Wieskötter B, Oeckenhöhler S, Breiter S: Akute Infektionen im Bereich des Fingernagels – die akuten Paronychien. *Handchirurgie Scan* 2014; 03: 69–85
36. Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH: Patterns of vertical root fracture: factors affecting stress distribution in the root canal. *J Endod* 2003; 29: 523–528
37. Li Y, Sui B, Dahl C et al.: Pulpotomy for carious pulp exposures in permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *J Dent* 2019; 84: 1–8
38. Lin LM, Ricucci D, Saoud TM, Sigurdsson A, Kahler B: Vital pulp therapy of mature permanent teeth with irreversible pulpitis from the perspective of pulp biology. *Aust Endod J* 2020; 46: 154–166
39. Linsuwanont P, Wimonsutthikul K, Pothimoke U, Santiwong B: Treatment outcomes of mineral trioxide aggregate pulpotomy in vital permanent teeth with carious pulp exposure: the retrospective study. *J Endod* 2017; 43: 225–230
40. Matsuo T, Nakanishi T, Shimizu H, Ebisu S: A clinical study of direct pulp capping applied to carious-exposed pulps. *J Endod* 1996; 22: 551–556
41. Merdad K, Sonbul H, Bukhary S, Reit C, Birkhed D: Caries susceptibility of endodontically versus nonendodontically treated teeth. *J Endod* 2011; 37: 139–142
42. Michaelson PL, Holland GR: Is pulpitis painful? *Int Endod J* 2002; 35: 829–832
43. Munir A, Zehnder M, Rechenberg DK: Wound lavage in studies on vital pulp therapy of permanent teeth with

carious exposures: a qualitative systematic review. *J Clin Med* 2020; 9: 984. doi: 10.3390/jcm9040984

44. Murray PE, Stanley HR, Matthews JB, Sloan AJ, Smith AJ: Age-related odontometric changes of human teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2002; 93: 474–482

45. Ng YL, Mann V, Rahbaran S, Lewsey J, Gulabivala K: Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature – part 2. Influence of clinical factors. *Int Endod J* 2008; 41: 6–31

46. Nilsen BW, Jensen E, Ortengren U, Michelsen VB: Analysis of organic components in resin-modified pulp capping materials: critical considerations. *Eur J Oral Sci* 2017; 125: 183–194

47. Qudeimat MA, Alyahya A, Hasan AA: Mineral trioxide aggregate pulpotomy for permanent molars with clinical signs indicative of irreversible pulpitis: a preliminary study. *Int Endod J* 2017; 50: 126–134

48. Ricucci D, Loghin S, Siqueira JF, Jr: Correlation between clinical and histologic pulp diagnoses. *J Endod* 2014; 40: 1932–1939

49. Ricucci D, Siqueira JF, Jr, Li Y, Tay FR: Vital pulp therapy: histopathology and histobacteriology-based guidelines to treat teeth with deep caries and pulp exposure. *J Dent* 2019; 86: 41–52

50. Ricucci D, Siqueira JF, Jr, Loghin S, Lin LM: Pulp and apical tissue response to deep caries in immature teeth: a histologic and histobacteriologic study. *J Dent* 2017; 56: 19–32

51. Schwendicke F, Frencken JE, Bjørndal L et al.: Managing carious lesions: consensus recommendations on carious tissue removal. *Adv Dent Res* 2016; 28: 58–67

52. Schwendicke F, Stolpe M: Direct pulp capping after a carious exposure versus root canal treatment: a cost-effectiveness analysis. *J Endod* 2014; 40: 1764–1770

53. Seltzer S, Bender IB, Ziontz M: The dynamics of pulp inflammation: correlations between diagnostic data and actual histologic findings in the pulp. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1963; 16: 846–871

54. Simon S, Perard M, Zanini M, et al: Should pulp chamber pulpotomy be seen as a permanent treatment? Some preliminary thoughts. *Int Endod J* 2013; 46: 79–87

55. Stashenko P, Teles R, D'Souza R: Peri-apical inflammatory responses and their modulation. *Crit Rev Oral Biol Med* 1998; 9: 498–521

56. Taha NA, Abdelkhalder SZ: Outcome of full pulpotomy using Biodentine in adult patients with symptoms indicative

of irreversible pulpitis. *Int Endod J* 2018; 51: 819–828

57. Taha NA, Ahmad MB, Ghanim A: Assessment of mineral trioxide aggregate pulpotomy in mature permanent teeth with carious exposures. *Int Endod J* 2017; 50: 117–125

58. Taha NA, Khazali MA: Partial pulpotomy in mature permanent teeth with clinical signs indicative of irreversible pulpitis: a randomized clinical trial. *J Endod* 2017; 43: 1417–1421

59. Tozar KN, Erkmen Almaz M: Evaluation of the efficacy of erbium, chromium-doped yttrium, scandium, gallium, and garnet laser in partial pulpotomy in permanent immature molars: a randomized controlled trial. *J Endod* 2020; 46: 575–583

60. Uesrichai N, Nirunsittirat A, Chuveera P, Srisuwan T, Sastraruji T, Chompu-Inwai P: Partial pulpotomy with two bioactive cements in permanent teeth of 6– to 18-year-old patients with signs and symptoms indicative of irreversible pulpi-

tis: a noninferiority randomized controlled trial. *Int Endod J* 2019; 52: 749–759

61. Wang G, Wang C, Qin M: Pulp prognosis following conservative pulp treatment in teeth with complicated crown fractures-A retrospective study. *Dent Traumatol* 2017; 33: 255–260

62. Wolters WJ, Duncan HF, Tomson PL et al.: Minimally invasive endodontics: a new diagnostic system for assessing pulpitis and subsequent treatment needs. *Int Endod J* 2017; 50: 825–829

63. Yazdani S, Jadidfarid MP, Tahani B, Kazemian A, Dianat O, Alim Marvasti L: Health technology assessment of CEM pulpotomy in permanent molars with irreversible pulpitis. *Iran Endod J* 2014; 9: 23–29

64. Zanini M, Hennequin M, Cousson PY: Which procedures and materials could be applied for full pulpotomy in permanent mature teeth? A systematic review. *Acta Odontol Scand* 2019; 77: 541–551



(Foto: Gabriel Krastl)

PROF. DR. GABRIEL KRASTL
Poliklinik für Zahnerhaltung
und Parodontologie
Universitätsklinikum Würzburg
Pleicherwall 2, 97070 Würzburg
Deutschland
Krastl_G@ukw.de



(Foto: T. Dammaschke)

PROF. DR. TILL DAMMASCHKE
Poliklinik für Parodontologie und
Zahnerhaltung
Universitätsklinikum Münster
Albert-Schweitzer-Campus 1,
Gebäude W 30, 48149 Münster
tillda@uni-muenster.de



(Foto: UKR)

PROF. DR. KERSTIN GALLER
Poliklinik für Zahnerhaltung
und Parodontologie
Universitätsklinikum Regensburg
Franz-Josef-Strauss-Allee 11
93053 Regensburg
Kerstin.Galler@klinik.uni-regensburg.de



(Foto: UKM)

PROF. DR. EDGAR SCHÄFER
Universitätsklinik für ZMK
Poliklinik für Zahnerhaltung
Waldeyerstr. 30, 48149 Münster
Deutschland
eschaef@uni-muenster.de