

Versorgung endodontisch behandelter Zähne mit Wurzelkanalstiften – Wann? Welche? Wie?

Die Art und Qualität der postendodontischen Versorgung hat neben einer suffizienten Wurzelkanalfüllung einen entscheidenden Einfluss auf den langfristigen Zahnerhalt und ist ein integraler Teil der Wurzelkanalbehandlung. Wurzelkanalstifte sind nur bei einem hohen Zerstörungsgrad der klinischen Krone des endodontisch behandelten Zahnes zur Retentionsverbesserung der koronalen Versorgung indiziert.

Einleitung

Für die Erfolgsprognose eines wurzelkanalbehandelten Zahnes ist nicht nur die suffiziente Wurzelfüllung entscheidend, sondern auch die Art und Qualität der anschließenden postendodontischen Versorgung.¹ Im Gegensatz zu vitalen Zähnen sind endodontisch behandelte Zähne bei vergleichbarem koronalen Zahnhartsubstanzverlust frakturanfälliger.² Die Annahme, dass die erhöhte Frakturanfälligkeit durch eine erhöhte Sprödigkeit der Zahnhartsubstanz begründet ist, wurde durch Studien widerlegt, die keine wesentlichen Veränderungen der physikalischen Eigenschaften der Zahnhartsubstanzen wurzelkanalbehandelter Zähne zeigten.³ Weitere Studien belegen, dass innere Dentinareale eine erhöhte Hydratisierung und geringere Mineralisation im Vergleich zu den äußeren Arealen aufweisen⁴ und so angesichts ihrer elastischeren Eigenschaften einen Großteil der belastungsbedingten Spannungsspitzen absorbieren.⁵ Durch die Entfernung der inneren Dentinareale während der mechanischen Wurzelkanalaufbereitung bzw. einer invasiven Stiftbettpräparation wird die Elastizität der Wurzel reduziert und somit die Frakturanfälligkeit erhöht. Zusammenfassend kann der koronale und radikuläre Substanzverlust und die daraus resultierende erhöhte Verformbarkeit endodontisch behandelter Zähne als Hauptursache für ihre hohen Frakturraten angenommen werden.^{6–8} Darüber hinaus führt der Funktionsverlust des Pulpagewebes im Rahmen

der Wurzelkanalbehandlung zu einem partiellen Verlust der propriozeptiven Schutzmechanismen des Zahnes. Als Folge kann die Belastung eines devitalen Zahnes im Vergleich zu einem vitalen Zahn 2,5-mal höher ausfallen, bevor eine propriozeptive Reaktion erfolgt.⁹ Ob dadurch die Frakturgefahr steigt, ist nicht zweifelsfrei nachgewiesen, aber denkbar.¹⁰ All diese Faktoren sollten für eine Frakturprophylaxe endodontisch behandelter Zähne berücksichtigt werden, um einen langfristigen Zahnerhalt zu ermöglichen. Erfolgt die definitive postendodontische Restauration innerhalb von vier Monaten nach der Wurzelkanalbehandlung, so hat dies einen positiven Effekt auf die Prognose des endodontisch behandelten Zahnes.¹¹

Indikation für Wurzelkanalstifte

Wurzelkanalstifte sind bei einem hohen koronalen Substanzdefekt notwendig, wenn die verbliebene Zahnhartsubstanz voraussichtlich nicht genügend Retentions- bzw. Adhäsionsfläche für den endgültigen Aufbau und die finale Versorgung bietet (Abb. 1). Damit liegt die Hauptaufgabe von Wurzelkanalstiften in der Retentionsverbesserung der koronalen Restauration. Durch die Insertion von Wurzelkanalstiften wird keine Stabilisierung der Wurzel hervorgerufen, sondern Laborstudien deuten eher gegenteilig daraufhin, dass tief inserierte Stifte den Zahn zusätzlich schwächen und dessen Frakturgefahr ggf. erhöhen.^{12, 13} Bei der Frage nach der Stiftindikation sollte auch der Zahntyp mit seinen unterschiedlichen Belas-



Alle Fotos: Prof. Dr. Ch. Gernhardt

Abb. 1 – Umfangreicher Zahnhartsubstanzschaden Zahn 23 (nur im Anschnitt zu sehen), wurde bereits endodontisch versorgt, Vollkeramikkrone soll folgen

tungswinkeln und -mustern betrachtet werden; Molaren sind eher vertikalen Kräften und Frontzähne zusätzlich horizontalen Kraftkomponenten ausgesetzt. Auf Oberkieferfrontzähne treffen hohe Scherkräfte, die in diesem Bereich zu einem erhöhten Versagensrisiko von Restaurationen führen können.^{14–17} Folglich kommt Wurzelstiften im Oberkieferfrontzahnbereich für die Retention der Restauration und des Aufbaus bei einem hohen Substanzverlust eine größere Bedeutung zu als im Molarenbereich (Tab. 1).

Der koronale Zerstörungsgrad wird häufig anhand der Höhe und bisweilen auch anhand der Zahl der verbliebenen Zahnhartsubstanzwände bestimmt. Prinzipiell sollte die gesunde Restzahnhartsubstanz zirkulär mindestens 2 mm über dem Gingivalsaum liegen. Dies ermöglicht die zirkuläre Fassung der Restzahnhartsubstanz im Sinne des „Ferrule-Effekts“ und macht die zusätzliche Stiftinsertion verzichtbar. Dieser Effekt ist entscheidend für die Langlebigkeit der finalen Restauration.

Sollte diese Höhe nicht vorhanden sein, ist die Stiftinsertion indiziert. Betrachtet man die Anzahl der vorhandenen Zahnhartsubstanzwände, so konnten mehrere klinische Studien zeigen, dass bei mindestens zwei verbliebenen Wänden die Insertion von Wurzelkanalstiften für die direkte und indirekte Restauration von endodontisch behandelten Zähnen nicht unweigerlich notwendig ist.¹⁸⁻²⁰ Vielmehr führt die Stiftbettpräparation, welche für die meisten Stiftsysteme erforderlich ist und empfohlen wird, zu einem weiteren Substanzverlust und einer Schwächung des Zahnes,^{7,21} die bei der Indikationsstellung eines Wurzelkanalstifts gegenüber der zusätzlichen Retentionsgewinnung abgewogen werden muss. Die Stiftinsertion ist empfehlenswert bei Zähnen mit nur einer koronalen (Frontzahnbereich) oder keiner verbliebenen Wand (Seitenzahnbereich), da dann eine zirkulär ausreichende Fassung der bestehenden Zahnhartsubstanz nicht gewährleistet ist. In diesen Fällen erhöht eine Stiftinsertion durch die verbesserte Retention der koronalen Restauration die langfristige Erfolgsrate des behandelten Zahnes.²²⁻²⁴

Welche Wurzelkanalstifte können klinisch angewendet werden?

Bei der Auswahl des Wurzelstifts existieren einerseits starre, rigide Materialien, wie Metall (Titan, hochgoldhaltige und nichtedelmetallische Legierungen) und Zirkonoxidkeramiken, andererseits können flexiblere Materialien, wie Carbon-, Quarz- und Glasfaserstifte, verwendet werden. Weiterhin unterscheidet man konfektionierte Stiftsysteme und individuell gefertigte Stiftstumpfaufbauten.

Konfektionierte Stifte können verschiedene Formen (konisch, zylindrisch, zylindrisch-konisch) und Passungen (aktiv und passiv) aufweisen. Individuell gefertigte Stiftstumpfaufbauten aus Metall wurden über Jahrzehnte für die Restauration stark zerstörter wurzelkanalbehandelter Zähne verwendet^{18,25,26}

Koronalen Zerstörungsgrad des Zahnes	Maß	Stiftinsertion
Höhe der verfügbaren supragingivalen gesunden Restzahnhartsubstanz (Ferrule-Effekt)	> 2 mm	nicht notwendig
	< 2 mm	notwendig
Frontzähne: intakte Zahnflächen (Wände)	>= 2 Wände	nicht notwendig
	< 2 Wände	notwendig
Seitenzähne: intakte Zahnflächen (Wände)	>= 1 Wand	nicht notwendig
	< 1 Wand	notwendig

Tab.1 – Indikationen für die Insertion eines Wurzelkanalstifts in Abhängigkeit von der vorliegenden gesunden Restzahnhartsubstanz

und zeigten bei adäquaten koronalen Restaurationen Erfolgsraten von über 90 % nach 6 und 8 Jahren.^{27,28} Um eine Abformung bzw. einen Scan des Wurzelkanals und damit einhergehend die Passung der laborgefertigten Restauration zu ermöglichen, muss jedoch häufig mehr gesunde Zahnhartsubstanz bei der Präparation geopfert werden. Außerdem besteht durch die zweizeitige Vorgehensweise ein erhöhtes Reinfektionsrisiko des Kanalsystems sowie Frakturgefahr der Wurzel während der provisorischen Versorgung.

Aktive metallische Stiftsysteme, sogenannte Schrauben, erfreuten sich in Zahnarztpraxen lange großer Beliebtheit, da ihre Retention bei konventioneller Befestigung (in der Regel Zinkoxid-Phosphat- oder Glasionomerzemente) anderen Stiftsystemen überlegen war.²⁹ Beim Hineinschrauben in die Wurzel treten jedoch Spannungen im Wurzelkanalentin auf, die bei ungünstigen Stresskonzentrationen zu Wurzelfrakturen und folglich zum Misserfolg führen können.^{16,30} Somit sind Schraubensysteme nicht empfehlenswert.

Konfektionierte Titanstifte erfordern eine Stiftbettpräparation und können sowohl konventionell als auch adhäsiv eingesetzt und mit einem plastischen Stumpfaufbau aus Komposit kombiniert werden. Adhäsiv befestigte Titanstifte zeigten vergleichbare positive Erfolgs-

raten in Langzeitstudien wie gegossene Stiftaufbauten.²⁸

Aufgrund ästhetischer Mängel beim Durchscheinen metallischer Stifte durch Keramiken und Gingiva wurden zahnfarbene Stiftsysteme aus Zirkonoxidkeramik entwickelt, welche adhäsiv im Wurzelkanal eingesetzt werden. Bislang gibt es wenig klinische Daten zu diesem Stiftsystem, die jedoch auf eine akzeptable Erfolgsrate hindeuten.³¹

1990 wurden mit Karbonfaserstiften erstmals flexiblere Stiftsysteme auf dem Markt eingeführt,³² die wenig später durch Glas- und Quarzfaserstifte, welche in eine Epoxidharz- oder Methacrylatbasis eingebettet sind, erweitert wurden, um wegen ihrer verbesserten Farbe auch den ästhetischen Ansprüchen nachzukommen. Die Frakturresistenz wird durch die Fasern erhöht, während die Matrix Kompressionskräften entgegenwirkt. Flexiblere Stiftsysteme liegen mit ihrem E-Modul (10 – 25 GPa)³³ eher im Bereich des Dentins (6 – 17 GPa)³⁴ und sollen bei suffizienter adhäsiver Befestigung auftretende Kräfte gleichmäßiger über die Länge des Stifts verteilen und so Wurzelfrakturen vermeiden.³⁵ Die oben erwähnte Forderung der Schonung innerer Dentinareale setzt eine möglichst wenig invasive Stiftbettpräparation voraus oder die Auswahl eines passenden Stifts für den bereits bei der Wurzelkanalaufbereitung präparierten

Fortbildung



Abb. 2 – Nach Reduktion der Wurzelkanalfüllung und vorsichtiger Reinigung der Wurzelkanalwände (Rosenbohrer) wird ein passendes Bündel des Bündelfaserstift-Systems ausgewählt und anprobiert. Das Bündel besteht aus zahlreichen kleineren faserverstärkten Stiften, die das Kanallumen bestmöglich ausfüllen sollen.



Abb. 3 – Mit einer dünnen Kanüle kann das dualhärtende Kompositmaterial in den Kanal nach Applikation des geeigneten dualhärtenden Adhäsivsystems und Silanisierung des Bündelstifts eingebracht werden



Abb. 4 – Der Bündelstift wird inseriert, anschließend gekürzt und aufgefächert. Luftblasen sind dabei unbedingt zu vermeiden. Nach Polymerisation kann der komplette koronale Aufbau hergestellt werden.

Kanal. Hier stellen neben den klassischen Einstiftsystemen sogenannte Faserbündel-Stiftsysteme, die je nach vorliegender Kanalgröße aus einer unterschiedlichen Anzahl einzelner, kleinerer Faserstifte bestehen, eine alternative Möglichkeit dar. Diese können individuell ohne zusätzliche Präparationsmaßnahmen an die bestehende Kanalform angepasst und inseriert werden (Abb. 1 – 7).

Bislang konnten klinisch jedoch keine Vorteile bei der Anwendung von Faserstiften im Vergleich zu Metallstiften hinsichtlich der Frakturgefahr nachgewiesen werden.^{36, 37} Auch in prospektiven klinischen Studien hatten flexible und rigide metallische Stiftsysteme vergleichbare Erfolgsraten;²³ lediglich eine Studie zeigte eine höhere Erfolgsrate von Faserstiften gegenüber metallischen Schrauben.¹⁶ Ebenfalls konnte ein systematisches Review aus dem Jahr 2024 keinen statistisch signifikanten Unterschied in der Überlebensrate von Glasfaser- und metallischen Stiften feststellen.³⁸ Dabei scheinen Misserfolge bei glasfaserstiftversorgten Zähnen hauptsächlich durch einen Retentionsverlust oder bei Stift- bzw. Wurzelfrakturen und metallischen Stiftversorgungen aufgrund von Wurzelfrakturen bzw. durch

einen Retentionsverlust der Krone zu entstehen.^{39 – 41}

Wie werden Wurzelkanalstifte befestigt?

Wurzelkanalstifte können konventionell mit Zementen (Zinkoxid-Phosphat- oder Glasionomerzement) oder adhäsiv mit Befestigungskompositen im Wurzelkanal verankert werden, wobei letzteres höhere Retentionswerte ermöglicht. Ziel der adhäsiven Befestigung von Wurzelstift und Kompositaufbau ist die Herstellung eines „Monoblocks“, welcher sich in seinen mechanischen Eigenschaften ähnelt.^{42, 43} Dabei wird eine optimale Haftung der verwendeten Komponenten zueinander vorausgesetzt. Idealerweise verteilen sich die auftretenden Kräfte über die gesamte Länge des adhäsiv befestigten Faserstifts, wodurch Spannungsspitzen vermieden werden. Jedoch wird ein Retentionsverlust von adhäsiv befestigten Faserstiften häufig als Versagensgrund für postendodontische Restaurationen beschrieben.⁴⁴ Infolge der eingeschränkten Sicht und Erreichbarkeit sowie der erschwerten Feuchtigkeitskontrolle stellt die adäquate Applikation und Polymerisation von Adhäsiv und Befestigungskomposit eine Herausforderung dar. Da eine ausrei-

chende Lichthärtung im Wurzelkanal auch bei Verwendung von faserverstärkten Wurzelkanalstiften eine zu geringe Lichttransmission ermöglicht,⁴⁵ sollten selbst- oder dualhärtende Systeme und keine rein lichthärtenden Systeme verwendet werden. Darüber hinaus erschwert die Morphologie des Wurzelkanal dentins, die vermehrt irreguläre Strukturen und Auflagerungen von Sekundärdentin aufweist, die suffiziente Anwendung der Adhäsivtechnik im Wurzelkanal.⁴⁶ Zusätzlich entsteht aufgrund des hohen Anteils an gebundener Fläche der Wurzelkanalwand bei der adhäsiven Befestigung von Wurzelkanalstiften immer ein ungünstiger C-Faktor.^{42, 43} Dadurch kommt es zu hohen Schrumpfkraften während der Polymerisation des Komposits, welche im ungünstigen Fall zu einem Versagen des Haftverbunds führen können.⁴⁷ Entsprechend ist die Etablierung eines suffizienten Verbunds zum Wurzelkanal von besonderer Bedeutung für eine erfolgreiche adhäsive Rekonstruktion des wurzelkanalbehandelten Zahnes.

Die adhäsive Befestigung von Wurzelstiften kann durch verschiedene Befestigungssysteme realisiert werden. Hierbei kann ein dualhärtendes Befestigungs- bzw. Aufbaukomposit mit der zusätzli-



Abb. 5 – Fertiger Aufbau mit einem dualhärtenden Kompositmaterial vor abschließender Präparation des Zahnes 23



Abb. 6 – Finale Präparation des Zahnes 23. Ein geringer Ferrule-Effekt, der in diesem Fall nicht zirkulär 2 mm umfasst, konnte realisiert werden. Die Indikation zur Insertion eines Stiftsystems mit dem Ziel der Retentionsverbesserung ist somit gegeben. Fäden zur Schonung der marginalen Gingiva und vor der Abformung wurden appliziert.



Abb. 7 – Die finale Restauration des Zahnes 23 mit einer individualisierten Lithiumdisilikat-Krone

chen Anwendung eines Adhäsivsystems („self-etch“ oder „etch-and-rinse“) kombiniert oder ein selbstadhäsives Befestigungskomposit ohne zusätzliche Adhäsivapplikation verwendet werden. Voraussetzung für einen suffizienten adhäsiven Haftverbund ist eine saubere Dentinoberfläche im Wurzelkanal, die keine Verunreinigung durch Smear Layer, Guttapercha oder Sealer aufweist. Vorteil der adhäsiven Befestigung ist wegen der höheren Retention die Möglichkeit einer reduzierten Insertionstiefe auf die Hälfte der Wurzellänge. Dies verringert die Invasivität einer Stiftbettpräparation und vermeidet darüber hinaus klinische Komplikationen maßgeblich, wie beispielsweise Perforationen während der Stiftbettpräparation.

Welches Befestigungssystem sollte verwendet werden?

Für die adhäsive Befestigung konfektionierter Metallstifte ist eine Oberflächenkonditionierung durch Korundstrahlung oder Silikatisierung mit anschließender Silanisierung zu empfehlen. Die Vorbehandlung faserverstärkter Wurzelkanalstifte ist produktabhängig aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung und Herstellungsverfahren. Für den Verbund zwischen Stiftoberfläche

und Befestigungskomposit sind der chemische Verbund (Copolymerisation, Diffusion in die Polymerstruktur) und der mikromechanische Verbund (Oberflächenmorphologie der Faserstifte) verantwortlich. Eine Oberflächenbearbeitung der Faserstifte (z. B. durch Sandstrahlen) führt zwar zu einer Steigerung der Rauigkeit, ist aber angesichts der Gefahr der Oberflächenbeschädigung und Desintegration der eingebetteten Faseranteile nicht angeraten. Eine Silanisierung der Stiftoberfläche wird vielfach von den Herstellern empfohlen, konnte jedoch nicht in allen Laboruntersuchungen zu einer Erhöhung der Haftung beitragen.⁴⁸ Der Grund: Ein chemischer Verbund ist lediglich zwischen den funktionellen Monomeren des Silans und den anorganischen Bestandteilen an der Stiftoberfläche und den Füllkörpern der Matrix zu erwarten.

Derzeit existieren auch keine klinischen Daten, die die Vorteile einer speziellen Vorbehandlungsstrategie zeigen. Eine Reinigung der Stifte nach der Anprobe sowie eine Entfettung der Stifte mit Alkohol und die Applikation eines Silans oder Universaladhäsivsystems zur Erhöhung der Benetzbarkeit⁴⁸ erscheint zur Optimierung des Verbundes empfehlenswert.

Eine Metaanalyse, basierend auf diversen Laborstudien, zeigt verbesserte Retentionswerte von faserverstärkten Wurzelkanalstiften im Wurzelkanal bei Verwendung von selbstadhäsiven Befestigungskompositen im Vergleich zu Befestigungskompositen, die mit einem Adhäsivsystem angewendet werden.⁴⁹ Vermutlich ist dies auf die einfache Anwendung dieser Systeme zurückzuführen. Klinisch konnte jedoch keine Überlegenheit eines Systems nachgewiesen werden.⁵⁰ Vielmehr spielt vermutlich die korrekte Anwendung der Adhäsivtechnik im Wurzelkanal eine größere Rolle als das verwendete System selbst.

Um einen optimalen adhäsiven Verbund zu gewährleisten, sollte die Sauberkeit der Dentinoberfläche mit optischen Vergrößerungshilfen inspiziert werden. Mithilfe dünner Applikationsspitzen⁵¹ wird das dualhärtende Befestigungskomposit direkt am Boden der Stiftbettkavität auf der Guttapercha eingebracht und langsam Richtung koronal injiziert, um Blasen im Befestigungskomposit und im Wurzelfüllmaterial zu vermeiden.⁵² Anschließend wird der Stift inseriert, zunächst mithilfe von Licht polymerisiert und der finale koronale Aufbau hergestellt (Abb. 8).

Wird der Zahn nach einem hohen Zahn-

Fortbildung

hartschubstanzverlust nach der Wurzelkanalstiftinsertion mit einer Krone versorgt, so wird die Frakturresistenz des Zahnes maßgeblich von der verbliebenen Restzahnsubstantz^{53, 54} sowie von der Präparation einer 1,5 bis 2 mm hohen Dentinmanschette (Fassreifen-effekt/Ferrule) beeinflusst.⁵⁵ In-vitro-Daten legen sogar nahe, dass die Präparation eines adäquaten Ferrules einen größeren Einfluss auf die Frakturresistenz wurzelkanalbehandelter Zähne hat als der verwendete Stifttyp,⁵⁶ insbesondere im Frontzahnbereich. Sollte die Präparation eines adäquaten Ferrules unter Berücksichtigung der biologischen Breite aufgrund tiefliegender Defekte nicht unmittelbar herstellbar sein, können zusätzliche Maßnahmen, wie eine chirurgische oder orthodontische Extrusion, Möglichkeiten sein, die Gestaltung eines adäquaten Ferrule-Designs zu gewährleisten.

Zusammenfassung

Die meisten endodontisch behandelten Zähne benötigen heute keine zusätzlichen Stiftretentionsmaßnahmen mehr. Lediglich sehr stark zerstörte Zähne, die eine ausreichende Retention der koronalen Restauration nicht sicher gewährleisten können, sollten zusätzlich durch die Insertion eines Stifts versorgt werden. Die Wahl des jeweiligen Stiftsystems ist aus wissenschaftlicher Sicht nicht abschließend zu beantworten. Allerdings kann ein adhäsives Vorgehen durchaus als sinnvoll erachtet werden. Ein wichtiger Aspekt bleibt im Zusammenhang mit der finalen Versorgung endodontisch behandelter Zähne immer die Betrachtung und Bewertung der Gesamtsituation des Gebisses und des Patienten, da gerade bei umfangreichen prothetischen Sanierungen die Pfeilerwertigkeit eines derart restaurierten endodontisch behandelten Zahnes verringert sein kann. Im Bereich der Einzelzahnversorgung kann man hier deutlich weniger restriktiv vorgehen.



Abb. 8 – Schematische Darstellung des Vorgehens beim adhäsiven Einsetzen eines faserverstärkten Stifts

Anh Duc Nguyen
anh.nguyen@uk-halle.de

Prof. Dr. med. dent.
Christian Ralf Gernhardt
christian.gernhardt@uk-halle.de

Prof. Dr. med. dent.
Kerstin Bitter, MME, MSc
kerstin.bitter@uk-halle.de

Department für Zahn-, Mund- und
Kieferheilkunde, Universitätspoliklinik
für Zahnerhaltungskunde
und Parodontologie,
Klinikum der Medizinischen Fakultät,
Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg,
Magdeburger Str. 16,
06112 Halle (Saale)

Literaturverzeichnis unter
www.zahnaerzte-in-sachsen.de

Fachbeitrag**„Versorgung endodontisch behandelter Zähne mit Wurzelkanalstiften – Wann? Welche? Wie?“****von Anh Duc Nguyen, Prof. Dr. med. dent. Christian Ralf Gernhardt, Prof. Dr. med. dent. Kerstin Bitter, MME, MSc**

1. Gillen, B.M., Looney, S.W., Gu, L.S., Loushine, B.A., Weller, R.N., Loushine, R.J., Tay, F.R. Impact of the quality of coronal restoration versus the quality of root canal fillings on success of root canal treatment: a systematic review and meta-analysis. J Endod 2011; 37(7): 895-902.
2. Adolphi, G., Zehnder, M., Bachmann, L.M., Gohring, T.N. Direct resin composite restorations in vital versus root-filled posterior teeth: a controlled comparative long-term follow-up. Oper Dent 2007; 32(5): 437-42.
3. Papa, J., Cain, C., Messer, H.H. Moisture content of vital vs endodontically treated teeth. Endod Dent Traumatol 1994; 10(2): 91-3.
4. Kahler, B., Swain, M.V., Moule, A. Fracture-toughening mechanisms responsible for differences in work to fracture of hydrated and dehydrated dentine. J Biomech 2003; 36(2): 229-37.
5. Kishen, A. Mechanisms and risk factors for fracture predilection in endodontically treated teeth. Endodontic Topics 2006; 13: 57-83.
6. Reeh, E.S., Messer, H.H., Douglas, W.H. Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. J Endod 1989; 15(11): 512-6.
7. Lang, H., Korkmaz, Y., Schneider, K., Raab, W.H. Impact of endodontic treatments on the rigidity of the root. J Dent Res 2006; 85(4): 364-8.
8. 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(1): 46-8.
9. Randow, K., Glantz, P.O. On cantilever loading of vital and non-vital teeth. An experimental clinical study. Acta Odontol.Scand. 1986; 44(5): 271-277.
10. Dammaschke, T., Galler, K.M., Krastl, G. Aktuelle Empfehlungen zur Vitalerhaltung der Pulpa. DZZ 2019; 74(1): 40-49.
11. Pratt, I., Aminoshariae, A., Montagnese, T.A., Williams, K.A., Khalighinejad, N., Mickel, A. Eight-Year Retrospective Study of the Critical Time Lapse between Root Canal Completion and Crown Placement: Its Influence on the Survival of Endodontically Treated Teeth. J Endod 2016; 42(11): 1598-1603.
12. Borelli, B., Sorrentino, R., Zarone, F., Ferrari, M. Effect of the length of glass fiber posts on the fracture resistance of restored maxillary central incisors. Am J Dent 2012; 25(2): 79-83.
13. Zicari, F., Van Meerbeek, B., Scotti, R., Naert, I. Effect of fibre post length and adhesive strategy on fracture resistance of endodontically treated teeth after fatigue loading. J Dent 2012; 40(4): 312-21.

14. Naumann, M., Blankenstein, F., Kiessling, S., Dietrich, T. Risk factors for failure of glass fiber-reinforced composite post restorations: a prospective observational clinical study. *Eur J Oral Sci* 2005; 113(6): 519-24.
15. Naumann, M., Reich, S., Nothdurft, F.P., Beuer, F., Schirrmeister, J.F., Dietrich, T. Survival of glass fiber post restorations over 5 years. *Am J Dent* 2008; 21(4): 267-72.
16. Schmitter, M., Hamadi, K., Rammelsberg, P. Survival of two post systems--five-year results of a randomized clinical trial. *Quintessence Int* 2011; 42(10): 843-50.
17. Torbjörner, A., Fransson, B. A literature review on the prosthetic treatment of structurally compromised teeth. *Int J Prosthodont* 2004; 17: 369-376.
18. Cloet, E., Debels, E., Naert, I. Controlled Clinical Trial on the Outcome of Glass Fiber Composite Cores Versus Wrought Posts and Cast Cores for the Restoration of Endodontically Treated Teeth: A 5-Year Follow-up Study. *Int J Prosthodont* 2017; 30(1): 71-79.
19. Fokkinga, W.A., Kreulen, C.M., Bronkhorst, E.M., Creugers, N.H. Up to 17-year controlled clinical study on post-and-cores and covering crowns. *J Dent* 2007; 35(10): 778-86.
20. Fokkinga, W.A., Kreulen, C.M., Bronkhorst, E.M., Creugers, N.H. Composite resin core-crown reconstructions: an up to 17-year follow-up of a controlled clinical trial. *Int J Prosthodont* 2008; 21(2): 109-15.
21. Ikram, O.H., Patel, S., Sauro, S., Mannocci, F. Micro-computed tomography of tooth tissue volume changes following endodontic procedures and post space preparation. *Int Endod J* 2009; 42(12): 1071-6.
22. Naumann, M., Schmitter, M., Krastl, G. Postendodontic Restoration: Endodontic Post-and-Core or No Post At All? *J Adhes Dent* 2018; 20(1): 19-24.
23. Bhuva, B., Giovarruscio, M., Rahim, N., Bitter, K., Mannocci, F. The restoration of root filled teeth: a review of the clinical literature. *Int Endod J* 2021; 54(4): 509-535.
24. AlSaleh, E., Dutta, A., Dummer, P.M.H., Farnell, D.J.J., Vianna, M.E. Influence of remaining axial walls on of root filled teeth restored with a single crown and adhesively bonded fibre post: A systematic review and meta-analysis. *J Dent* 2021; 114: 103813.
25. Ellner, S., Bergendal, T., Bergman, B. Four post-and-core combinations as abutments for fixed single crowns: a prospective up to 10-year study. *Int J Prosthodont* 2003; 16(3): 249-54.
26. Ferrari, M., Vichi, A., Garcia-Godoy, F. Clinical evaluation of fiber-reinforced epoxy resin posts and cast post and cores. *Am J Dent* 2000; 13(Spec No): 15B-18B.
27. Bergman, B., Lundquist, P., Sjogren, U., Sundquist, G. Restorative and endodontic results after treatment with cast posts and cores. *J Prosthet Dent* 1989; 61(1): 10-5.

28. Jung, R.E., Kalkstein, O., Sailer, I., Roos, M., Hammerle, C.H. A comparison of composite post buildups and cast gold post-and-core buildups for the restoration of nonvital teeth after 5 to 10 years. *The International journal of prosthodontics* 2007; 20(1): 63-9.
29. Standlee, J.P., Caputo, A.A., Hanson, E.C. Retention of endodontic dowels: effects of cement, dowel length, diameter, and design. *J Prosthet Dent* 1978; 39(4): 400-5.
30. Fox, K., Wood, D.J., Youngson, C.C. A clinical report of 85 fractured metallic post-retained crowns. *Int Endod J* 2004; 37(8): 561-73.
31. Bateli, M., Kern, M., Wolkewitz, M., Strub, J.R., Att, W. A retrospective evaluation of teeth restored with zirconia ceramic posts: 10-year results. *Clin Oral Investig* 2014; 18(4): 1181-1187.
32. Duret, B., Reynaud, M., Duret, F. [New concept of coronoradicular reconstruction: the Composipost (1)]. *Chirur Dent France* 1990; 60(540): 131-41 contd.
33. Zicari, F., Coutinho, E., Scotti, R., Van Meerbeek, B., Naert, I. Mechanical properties and micro-morphology of fiber posts. *Dent Mater* 2013; 29(4): e45-52.
34. Kishen, A., Ramamurty, U., Asundi, A. Experimental studies on the nature of property gradients in the human dentine. *J Biomed Mater Res* 2000; 51(4): 650-9.
35. Zhou, L., Wang, Q. Comparison of fracture resistance between cast posts and fiber posts: a meta-analysis of literature. *J Endod* 2013; 39(1): 11-15.
36. Martins, M.D., Junqueira, R.B., de Carvalho, R.F., Lacerda, M., Fae, D.S., Lemos, C.A.A. Is a fiber post better than a metal post for the restoration of endodontically treated teeth? A systematic review and meta-analysis. *J Dent* 2021; 112: 103750.
37. Figueiredo, F.E., Martins-Filho, P.R., Faria, E.S.A.L. Do metal post-retained restorations result in more root fractures than fiber post-retained restorations? A systematic review and meta-analysis. *J Endod* 2015; 41(3): 309-16.
38. Tsintsadze, N., Margvelashvili-Malament, M., Natto, Z.S., Ferrari, M. Comparing survival rates of endodontically treated teeth restored either with glass-fiber-reinforced or metal posts: A systematic review and meta-analyses. *J Prosthet Dent* 2024; 131(4): 567-578.
39. Marchionatti, A.M.E., Wandscher, V.F., Rippe, M.P., Kaizer, O.B., Valandro, L.F. Clinical performance and failure modes of pulpless teeth restored with posts: a systematic review. *Braz Oral Res* 2017; 31: e64.
40. Goracci, C., Ferrari, M. Current perspectives on post systems: a literature review. *Aust Dent J* 2011; 56 Suppl 1: 77-83.
41. Faria, A.C.L., Rodrigues, R.C.S., de Almeida Antunes, R.P., de Mattos, M.d.G.C., Ribeiro, R.F. Endodontically treated teeth: Characteristics and considerations to restore them. *Journal of Prosthodontic Research* 2011; 55(2): 69-74.

42. Tay, F.R., Loushine, R.J., Lambrechts, P., Weller, R.N., Pashley, D.H. Geometric factors affecting dentin bonding in root canals: a theoretical modeling approach. *J Endod* 2005; 31(8): 584-9.
43. Tay, F.R., Pashley, D.H. Monoblocks in root canals: a hypothetical or a tangible goal. *J Endod* 2007; 33(4): 391-8.
44. Rasimick, B.J., Wan, J., Musikant, B.L., Deutsch, A.S. A review of failure modes in teeth restored with adhesively luted endodontic dowels. *Journal of Prosthodontics* 2010; 19(8): 639-46.
45. Goracci, C., Corciolani, G., Vichi, A., Ferrari, M. Light-transmitting ability of marketed fiber posts. *J Dent Res* 2008; 87(12): 1122-6.
46. Mjör, I.A., Smith, M.R., Ferrari, M., Mannocci, F. The structure of dentine in the apical region of human teeth. *Int Endod J* 2001; 34(5): 346-53.
47. Feilzer, A.J., De Gee, A.J., Davidson, C.L. Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. *J Dent Res* 1987; 66(11): 1636-9.
48. Zicari, F., De Munck, J., Scotti, R., Naert, I., Van Meerbeek, B. Factors affecting the cement-post interface. *Dent Mater* 2012; 28(3): 287-97.
49. Sarkis-Onofre, R., Skupien, J.A., Cenci, M.S., Moraes, R.R., Pereira-Cenci, T. The role of resin cement on bond strength of glass-fiber posts luted into root canals: a systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *Oper Dent* 2014; 39(1): E31-44.
50. Bergoli, C.D., Brondani, L.P., Wandscher, V.F., Pereira, G., Cenci, M.S., Pereira-Cenci, T., Valandro, L.F. A Multicenter Randomized Double-blind Controlled Clinical Trial of Fiber Post Cementation Strategies. *Oper Dent* 2018; 43(2): 128-135.
51. Watzke, R., Blunck, U., Frankenberger, R., Naumann, M. Interface homogeneity of adhesively luted glass fiber posts. *Dent Mater* 2008; 24(11): 1512-7.
52. Soares, A.P., Bitter, K., Lagrange, A., Rack, A., Shemesh, H., Zaslansky, P. Gaps at the interface between dentine and self-adhesive resin cement in post-endodontic restorations quantified in 3D by phase contrast-enhanced micro-CT. *Int Endod J* 2019.
53. Mangold, J.T., Kern, M. Influence of glass-fiber posts on the fracture resistance and failure pattern of endodontically treated premolars with varying substance loss: an in vitro study. *J Prosthet Dent* 2011; 105(6): 387-93.
54. Samran, A., El Bahra, S., Kern, M. The influence of substance loss and ferrule height on the fracture resistance of endodontically treated premolars. An in vitro study. *Dent Mater* 2013; 29(12): 1280-6.
55. Naumann, M., Schmitter, M., Frankenberger, R., Krastl, G. "Ferrule Comes First. Post Is Second!" Fake News and Alternative Facts? A Systematic Review. *J Endod* 2018; 44(2): 212-219.

56. Naumann, M., Preuss, A., Frankenberger, R. Reinforcement effect of adhesively luted fiber reinforced composite versus titanium posts. Dent Mater 2007; 23(2): 138-44.