

Michael Arnold

Regenerative endodontische Therapie – neue Möglichkeiten bei Erwachsenen

INDIZES

regenerative endodontische Therapie, regenerative endodontische Prozedur, Pulparegeneration

ZUSAMMENFASSUNG

Die Indikation zur regenerativen endodontischen Therapie (RET) war bisher begrenzt auf zumeist traumatisch geschädigte Zähne von Kindern. In der Zwischenzeit liegen erste Ergebnisse vor, die den erfolgreichen Einsatz der RET auch bei Erwachsenen nachweisen. Die Ziele der RET bestehen in der Eliminierung der mikrobiellen Infektion, der Wiederherstellung einer Blutgefäß- und Nervversorgung, der Fortsetzung des Längen- oder Dickenwachstums des Wurzeldentins und der langfristigen Erhaltung der Bruchzähigkeit des Kollagens im Wurzeldentin. Als zusätzliche neue relative Indikationen bei Erwachsenen werden die Pulpaneukrose und die fortbestehende Infektion nach abgeschlossener Wurzelkanalbehandlung bei weit offenem apikalem Foramen vorgestellt.

Einleitung

Durch eine Wurzelkanalbehandlung gelingt es häufig, die Bakterienmenge im Wurzelkanal so weit zu reduzieren, dass periapikale Entzündungen vollständig heilen und die betroffenen Zähne erhalten bleiben können¹. Zum Abschluss der Wurzelkanalbehandlung wird dazu das mechanisch erweiterte und desinfizierte Wurzelkanalsystem mit einem Füllungsmaterial verschlossen. Ziel der Wurzelkanalfüllung ist es, für verbliebene oder neu hinzutretende Mikroorganismen den Zugang zu neuem Substrat so einzusengen, dass eine Vermehrung oder ein Überleben von Bakterien verhindert wird².

Dies gelingt jedoch nicht immer³. Die Erfolgsprognose ist weniger von der Wurzelkanalfüllung, sondern mehr davon abhängig, wie lange, wieviel und welche Arten pathogener Keime in das Zahnninnere eingedrungen sind, und ob eine Entfernung oder Neutralisierung gelingen konnte⁴. Von der Wurzelkanaloberfläche können manche Mikroor-

ganismen tief in die 1–3 µm großen Dentintubuli in das Dentin penetrieren und sich so der Wirkung von Desinfektionsmitteln entziehen⁵.

Eine vitale Pulpa verkleinert mit zunehmendem Alter die Tubuli durch eine kontinuierliche Mineralisation bis zur Ausbildung vollständig für Bakterien undurchdringbarer Dentinsklerosen. Fibroblasten innerhalb der Pulpa sind zusätzlich in der Lage, dentinähnliches Hartgewebe zu produzieren und können damit Defekte im Dentin reparieren⁶. Die Möglichkeit einer mikrobiellen Infektion des Dentins und Wurzelkanalsystems wird damit verringert. Deshalb wird angestrebt, das Pulpagewebe so lange wie möglich zu erhalten, damit der natürliche Alterungsprozess des Zahnes mit zunehmendem Schutz gegen eine bakterielle Infektion fortsetzen kann⁷.

Ist das Pulpagewebe zerstört, lässt es sich durch körpereigene Stammzellen teilweise wieder ersetzen und reparieren⁸. Die im Knochengewebe und Blutgefäßsystem vorhandenen Stammzellen müssen zunächst zur Reparatur im Wurzelkanal an-

geregt werden. Dazu benötigen diese Zellen ein neues Blutgefäßsystem für den Transport zum geschädigten Wurzelkanaldentin und den biochemischen Reiz zur Zelldifferenzierung und Wiederherstellung der verloren gegangenen Gewebe⁹.

Die regenerative Leistungsfähigkeit körpereigener Zellen wurde bereits in einer Studie aus dem Jahr 1961 von Østby beschrieben¹⁰, welche dann in tierexperimentellen Studien von Nevins et al. bestätigt wurde¹¹⁻¹³. Einer der ersten erfolgreichen klinischen Behandlungsfälle wurde von Banchs & Trope im Jahr 2004 vorgestellt¹⁴. In den Folgejahren wurde tierexperimentell^{15,16} und in zahlreichen Einzelfällen und Fallserien die erfolgreiche regenerative endodontische Therapie präsentiert, sodass die wissenschaftlichen Fachgesellschaften die RET als ein neues und geeignetes Therapieverfahren bestätigten^{8,17}.

Die Ziele der RET bestehen in der:

1. Eliminierung der mikrobiellen Infektion,
2. Wiederherstellung einer Blutgefäßversorgung,
3. Wiederherstellung einer Nervversorgung,
4. Fortsetzung des Längen- oder Dickenwachstums des Wurzeldentins oder Reparatur mit zement- und knochenähnlichem Gewebe,
5. langfristigen Erhaltung der Bruchzähigkeit des Kollagens im Wurzeldentin zur Vermeidung von Wurzelfrakturen.

Die Indikation zur RET war in den ersten Jahren begrenzt auf zumeist traumatisch geschädigte Zähne von Kindern, deren Wurzelwachstum als Folge einer Pulpanekrose unterbrochen war. In der Zwischenzeit liegen weitere Ergebnisse vor, die den erfolgreichen Einsatz der RET auch bei Erwachsenen nachweisen¹⁸. So konnten Zähne mit resorptiven Defekten und Zähne mit infizierter Pulpanekrose mithilfe der RET erhalten werden¹⁹⁻²¹.

Das Verfahren der RET kommt nur dann zur Anwendung, wenn eine medizinische Indikation vorliegt und der Patient dem speziellen Verfahren zustimmt.

Relative Indikationen bei Kindern und Jugendlichen liegen vor bei Pulpanekrosen nach:

- Trauma bei nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum²²,
- Wurzelquerfraktur²³,

- externer infektionsbedingter Resorption²¹,
- interner infektionsbedingter Resorption²³,
- Autotransplantation oder intentioneller Replantation von Zähnen mit weit offenem Apex bzw. nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum²⁴.

Zusätzliche neue relative Indikationen bei Erwachsenen sind:

- Pulpanekrose bei weit offenem Foramen²⁵,
- fortbestehende Infektion nach Wurzelkanalbehandlung (WKB)²⁶.

Für alle diese genannten Indikationen ist in Falldarstellungen und Fallserien nachgewiesen, dass sie bei sorgfältiger Durchführung zur Revitalisierung der Zähne führen können („Proof of principle“).

Das Verfahren der regenerativen endodontischen Therapie (RET)

Das Verfahren beinhaltet drei Teilschritte:

1. Eliminierung und Neutralisierung der mikrobiellen Infektion mithilfe einer medikamentösen Einlage für 2–3 Wochen,
2. Schaffung der Grundlagen für Regeneration und Reparatur durch provozierte Einblutung in den Wurzelkanal, Applikation von Platelet-rich fibrin (PRF) und definitiven Verschluss des Zahnes sowie
3. Kontrolle der Heilung nach 3 (Kinder), 6, 24 und 60 Monaten.

Die Behandlung erstreckt sich über zwei Behandlungstermine mit einem Abstand von 1–3 Wochen. Im Gegensatz zur traditionellen Wurzelkanalbehandlung wird der Wurzelkanal bzw. das Wurzelkanalsystem nur gereinigt und desinfiziert, auf eine zusätzliche mechanische Erweiterung des Wurzelkanals kann meist verzichtet werden. Die Desinfektion muss aber noch sorgfältiger als bei einer Wurzelkanalbehandlung erfolgen, damit eine Restinfektion die Gefäßneubildung und Zellanhäufung nicht kompromittiert.

Die gesamte Behandlung erfolgt unter aseptischen Bedingungen. Alle zur Gewebebildung benutzten Instrumente müssen steril sein, um das

Abb. 1 Zahn 32 mit persistierender apikaler Parodontitis und apikaler Resorption nach abgeschlossener Wurzelkanalbehandlung.



Abb. 2 IKD-Befund: vollständige Wurzelkanalfüllung mit randständig gelegenen nekrotischen Gewebestückchen.

Risiko einer Reinfektion im Verlauf der Therapie zu vermeiden.

Fallbeispiel einer RET nach Wurzelkanalbehandlung und WSR

Der 43-jährige männliche Patient stellte sich aufgrund einer Überweisung mit der Fragestellung der Erhaltungsfähigkeit des Zahnes 32 in der auf Endodontie spezialisierten Praxis vor. Die Anamnese war unauffällig. Der Zahn war nach Angaben des Patienten etwa 10 Jahre zuvor wurzelkanalbehandelt und nachfolgend aufgrund von Beschwerden reseziert worden. Aktuell gab der Patient keine Beschwerden an. Radiologisch bestand bei scheinbar vollständiger Wurzelkanalfüllung eine scharf begrenzte periapikale Aufhellung mit apikaler externer Resorption (Abb. 1). Klinisch war der Zahn unauffällig. Es lagen keine Schwellung und keine Fistel vor.

Nach Aufklärung über die Therapiemöglichkeiten entschied sich der Patient für einen weiteren Erhaltungsversuch.

Erster Behandlungstermin

Vor Beginn der Behandlung wurde die Mundhöhle des Patienten mit Chlorhexidin für eine Minute desinfiziert. Eine lokale Anästhesie sicherte die Schmerzfreiheit der Behandlung. Der betroffene

Zahn wurde isoliert mit Kofferdam, OraSeal und Opaldam (Fa. Ultradent, Köln), um eine Kontamination mit Speichel auszuschließen. Nach der Präparation einer Zugangskavität und Freilegung des Wurzelkanals (Abb. 2) wurde das Füllungsmaterial mit Ultraschall (IrriK 25.02, Fa. VDW, München) und rotierenden Nickel-Titan(NiTi)-Feilen (ProFile, Fa. Maillefer, Ballaigues, Schweiz) vollständig entfernt. Im Anschluss wurden der Kofferdam, die Zahnoberfläche und die Zugangskavität mit einem Tupfer, getränkt mit 1 % Natriumhypochlorit (NaOCl), desinfiziert. Zur Desinfektion und Reinigung wurde jeweils mit 5 ml NaOCl 1 % und Ethyldendiamintetraessigsäure (EDTA) 17 % im Wurzelkanal ultraschallaktiviert gespült. Nach der Trocknung des Wurzelkanals wurde eine Mischung aus 250 mg Metronidazol, 500 mg Ciprofloxacin und 500 mg Clindamycin in einer Konzentration von 1 mg/ml als medikamentöse Einlage verwendet²⁷. Zur Vermeidung einer Rekontamination wurde die Zugangskavität bakteriendicht unter Anwendung der Adhäsivtechnik mit Komposit verschlossen.

Zweiter Behandlungstermin

Zwei Wochen nach der Initialtherapie war der Patient weiterhin beschwerdefrei. In Vorbereitung auf die RET erfolgte die Abnahme von 2 x 10 ml Blut aus der Vena mediana cubiti. Das venöse Blut wurde zur Trennung der roten Blutkörperchen von den Blutplättchen, Leukozyten und der Fibrinmatrix



Abb. 3 Zentrifugiertes Blut zur Herstellung von PRF.

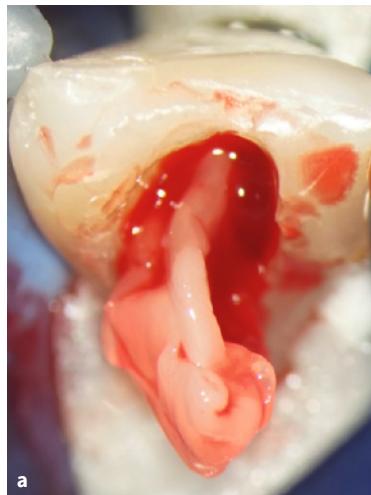


Abb. 4a und b PRF-Fragmente werden in der Zugangskavität abgelegt (a) und als biologische Wurzelkanalfüllung in den Wurzelkanal transportiert (b).



sofort ohne Zusatz von Antikoagulanzien für 8 min bei 1.200 U/min zentrifugiert. Mit diesem Verfahren wurden im Blut befindliche bioaktive Moleküle (Platelet-derived growth factor [PDGF], Transforming growth factor-beta [TGF- β], Vascular endothelial growth factor [VEGF], Insulin-like growth factor [IGF], Epidermal growth factor [EGF]) konzentriert²⁸. Das so gewonnene Gewebe Platelet-rich fibrin (PRF) ließ sich im Reagenzglas farblich gut differenzieren und vom Erythrozytenkonzentrat mit einer sterilen Schere abtrennen (Abb. 3). Das PRF wurde mit einer etwa 10 g schweren Metallplatte in einer sterilen Box für etwa 10 min verdichtet, flach geformt und nachfolgend mit einer Schere in Segmente zerteilt.

Am Zahn wurde das Vorgehen beim ersten Behandlungstermin bis zur Entfernung der intrakanalären medikamentösen Einlage wiederholt. Unter Nutzung von Ultraschall wurde das Medikament mit NaOCl und EDTA aus dem Wurzelkanalsystem entfernt.

Das Ziel des nächsten Behandlungsschrittes war es, mithilfe von EDTA körpereigene Wachstumsfaktoren aus dem Wurzeldentin freizulegen. Nach einer Einwirkungszeit von 60 s wurde der Wurzelkanal zur Neutralisierung der EDTA-Lösung mit Kochsalzlösung gespült und mit einer Papier spitze getrocknet. Mit einem sterilen, an der Spitze leicht abgeknickten MicroOpener wurde am

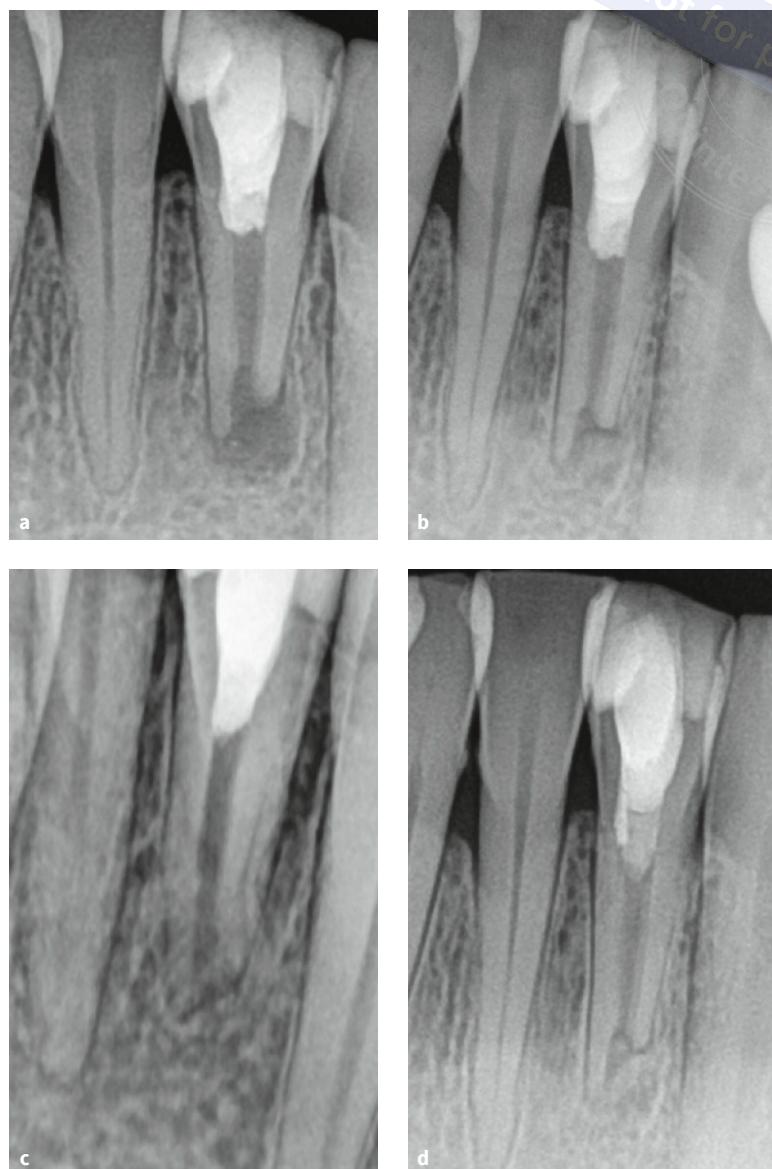
apikalen Ende des Wurzelkanals eine Blutung induziert. Die Einblutung in den Wurzelkanal sollte die Grundlage für die Migration, die Adhärenz und die Differenzierung der Stammzellen schaffen. Für den Zeitraum der Einblutung und ersten Gerinnung wurde der Zahn für etwa 10 min mit einem sterilen Tupfer abgedeckt, um eine Reinfektion zu vermeiden.

Für das Migrieren der Zellen über die gesamte Länge des Wurzelkanals wurde zusätzlich zu dem frischen Blutkoagel das vorbereitete PRF genutzt. Die PRF-Segmente wurden mit einer sterilen Pinzette am Wurzelkanal abgelegt und mit sterilen Pluggern in den Wurzelkanal geführt (Abb. 4a und b). Überschüssiges Plasma wurde mit sterilen Papierspitzen abgetupft, bis der Wurzelkanal bis etwa 1 mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze aufgefüllt war.

Der mit PRF gefüllte Wurzelkanal wurde mit Mineral-Trioxid-Aggregat (MTA) drucklos abgedeckt, getrocknet und mit Komposit unter Anwendung der Adhäsivtechnik definitiv verschlossen.

Die klinischen und radiologischen Kontrollen erfolgten nach 6, 24 und 36 Monaten. Der Patient war beschwerdefrei. Klinisch war der Zahn unauffällig und in Funktion. Die apikale Parodontitis heilte bereits nach 6 Monaten und die apikale externe Wurzelresorption zeigte radiologisch keinen weiteren Zuwachs. Nach 24 und 36 Monaten kam

Abb. 5a bis d Röntgenkontrollen: nach Abschluss der Therapie (a), nach 6 Monaten (b), nach 2 Jahren (c) und nach klinischer Evaluation und neuem Verschluss mit BioDentine 3 Jahre nach Abschluss der RET (d).

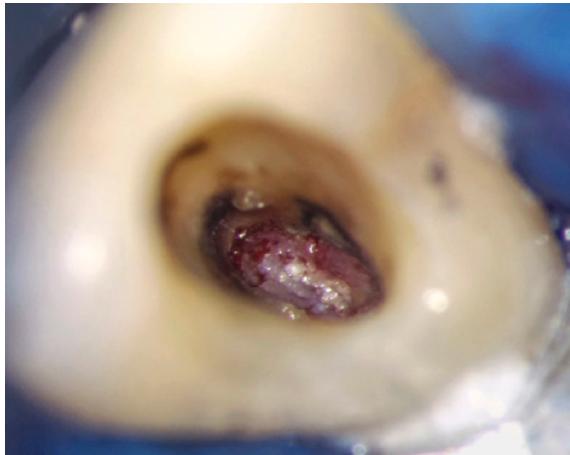


es zu keinem radiologisch nachweisbaren Rezidiv (Abb. 5a bis c). Der Zahn reagierte auf den elektrischen und thermischen Sensibilitätstest negativ. Eine Gefäßneuversorgung war radiologisch nicht eindeutig nachzuweisen, sodass nach 36 Monaten eine klinische Reevalution erfolgte.

Unter absoluter Trockenlegung wurden der Zahn wiedereröffnet und der MTA-Verschluss mit Ultraschall entfernt. Nach einer ultraschallaktivierten Spülung mit NaOCl wurde unter Sicht mit dem Mikroskop im Wurzelkanal ein neues homogenes und durchblutetes Gewebe dargestellt (Abb. 6). Auf die Berührung des Gewebes mit einem sterilen

MicroOpener reagierte der Patient positiv und bestätigte die sensible Versorgung. Die intrakoronale Befundaufnahme zeigte das Vorliegen eines neuen pulpaähnlichen Gewebes mit Blutgefäßen und Nervenfasern. Das Gewebe wurde nach einer oberflächlichen Spülung mit NaOCl und Natriumchlorid (NaCl) mit BioDentine (Fa. Septodont, Saint-Maur-des Fosses Cedex, Frankreich) abgedeckt und das Ergebnis mit einer Röntgenkontrolle dokumentiert (Abb. 5d). Nach Trocknung erfolgte der Verschluss der Zugangskavität mit Komposit. Weitere Kontrollen nach 5 und 10 Jahren wurden dem Patienten empfohlen.

Abb. 6 IKD-Befund nach 36 Monaten: homogenes, durchblutetes und sensibel reagierendes Gewebe.



Diskussion

Das Ziel, Zähne nach einer Pulpanekrose entzündungsfrei zu erhalten, gelingt unter Anwendung moderner endodontischer Therapieverfahren in primären Wurzelkanalbehandlungen in bis zu 93 % der Fälle²⁹. Liegt ein mikrobiell infiziertes Wurzelkanalsystem vor, verschlechtert sich die Prognose¹. Persistierende Entzündungen trotz zusätzlicher chirurgischer oder nichtchirurgischer Therapie führen zu einer weiteren Verschlechterung der Prognose^{30,31}. Durch die chemomechanische Behandlung wird das Kollagen im Dentin desinfiziert, aber auch geschädigt. Eine bislang angestrebte vollständige und wandständige Wurzelkanalfüllung blockiert den Zutritt von Feuchtigkeit zum Dentin, sodass die Ausbildung von Dentinrissen und Vertikalfrakturen begünstigt werden³².

Zähne mit apikaler Parodontitis, resorptiven Defekten und komplizierten Traumata können unter Anwendung der RET in ausgewählten Fällen mit guter Prognose erhalten werden³³. Als mögliche Gründe für den Erfolg werden die prolongierte Desinfektion und der aseptische Zugang vermutet. Mit der Verwendung von PRF kommt ein zusätzlicher Faktor einer langfristigen antimikrobiellen Therapie zum Einsatz. Gelingt es, ein Stützgewebe und ein Blutgefäßsystem im Wurzelkanal neu auszubilden, können körpereigene Abwehrzellen innerhalb des Wurzelkanals langfristig antimikrobiell wirksam werden^{8,34}. Ob der offene Zugang der Dentintubuli zum feuchten Milieu nachträglich die Ausbildung von Rissen verlangsamt oder sogar verhindert,

kann erst in Langzeitstudien ermittelt werden. In Fällen der erfolgreichen Reparatur externer infektionsbedingter Resorptionen besteht die Hypothese, dass zusätzlich bioaktive Moleküle und Wachstumsfaktoren am geschädigten Dentin Stammzellen auf der Wurzeloberfläche nach Inaktivierung der Osteoklasten zur Reparatur anregen können²¹. Auch im präsentierten Fall kam es zum Stillstand der Resorption und einer ersten Reparatur mit zementähnlichem Gewebe, sodass sich ein Desmodontalspalt physiologischer Breite ausbildete.

Das Verfahren zur Revitalisierung unterlässt bewusst den Verschluss des Wurzelkanalsystems mit einem röntgensichtbaren Füllungsmaterial und strebt eine Neuversorgung mit Blutgefäßen und Nerven oder Reparatur mit mineralisiertem dentinähnlichen Gewebe an. Dies bedarf vor einer prothetischen Neuversorgung deshalb einer speziellen individuellen Einschätzung mit der Beurteilung der Prognose, die nach einem Kontrollzeitraum von 1–2 Jahren erfolgen sollte.

Hinweise auf eine erfolgreiche Regeneration nach RET bei Zähnen mit nicht abgeschlossenem oder abgeschlossenem Wurzelwachstum sind der radiologische Nachweis eines weiteren Längen- oder Dickenwachstums der Wurzel und der Nachweis der Sensibilität. Von einer erfolgreichen Reparatur ist auszugehen, wenn im Wurzelkanal ein dentin- oder knochenähnliches Gewebe röntgenologisch nachgewiesen werden kann und Resorptionen stagnieren. Ist der Nachweis einer erfolgreichen RET zweifelhaft, kann eine klinische Reevaluation mit intrakoronaler Befundaufnah-

me erfolgen. Bei Hinweisen auf eine ausbleibende Regeneration und Reparatur oder fortbestehende Resorption kann die RET wiederholt oder der Wurzelkanal vollständig gefüllt werden. Mit der Erfolgskontrolle kann das Risiko einer mikrobiellen Reinfektion für den Patienten verringert werden.

Literatur

1. Ng Y-L, Mann V, Gulabivala K. A prospective study of the factors affecting outcomes of nonsurgical root canal treatment: part 1: periapical health. *Int Endod J* 2011;44:583–609.
2. European Society of Endodontontology. Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontontology. *Int Endod J* 2006;39:921–930.
3. Ng Y-L, Mann V, Rahbaran S, Lewsey J, Gulabivala K. Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature - part 1. Effects of study characteristics on probability of success. *Int Endod J* 2007;40:921–939.
4. Siqueira JF, Silva WO, Romeiro K, Gominho LF, Alves FRF, Rôcas IN. Apical root canal microbiome associated with primary and posttreatment apical periodontitis: A systematic review. *Int Endod J* 2024;57:1043–1058.
5. Love RM, Jenkinson HF. Invasion of dentinal tubules by oral bacteria. *Crit Rev Oral Biol Med* 2002;13:171–183.
6. Álvarez-Vásquez JL, Castañeda-Alvarado CP. Dental pulp fibroblast: A Ssar cell. *J Endod* 2022;48:1005–1019.
7. Kakoli P, Nandakumar R, Romberg E, Arola D, Fouad AF. The effect of age on bacterial penetration of radicular dentin. *J Endod* 2009;35:78–81.
8. Galler KM, Krastl G, Simon S, Van Gorp G, Meschi N, Vaheidi B et al. European Society of Endodontontology position statement: Revitalization procedures. *Int Endod J* 2016;49:717–723.
9. Lin LM, Huang GT-J, Sigurdsson A, Kahler B. Clinical cell-based versus cell-free regenerative endodontics: clarification of concept and term. *Int Endod J* 2021;54:887–901.
10. Östby BN. The role of the blood clot in endodontic therapy. An experimental histologic study. *Acta Odontol Scand* 1961;19:324–353.
11. Nevins AJ, Finkelstein F, Borden BG, Laporta R. Revitalization of pulpless open apex teeth in rhesus monkeys, using collagen-calcium phosphate gel. *J Endod* 1976;2:159–165.
12. Nevins A, Wrobel W, Valachovic R, Finkelstein F. Hard tissue induction into pulpless open-apex teeth using collagen-calcium phosphate gel. *J Endod* 1977;3:431–433.
13. Nevins A, Finkelstein F, Laporta R, Borden BG. Induction of hard tissue into pulpless open-apex teeth using collagen-calcium phosphate gel. *J Endod* 1978;4:76–81.
14. Banchs F, Trope M. Revascularization of immature permanent teeth with apical periodontitis: new treatment protocol? *J Endod* 2004;30:196–200.
15. Widbiller M, Rosendahl A, Wölflick M, Linnebank M, Welzenbach B, Hiller KA et al. Isolation of Endogenous TGF-β1 from root canals for pulp tissue engineering: A translational study. *Biology (Basel)* 2022;11:227.
16. Galler KM, D'Souza RN, Hartgerink JD, Schmalz G. Scaffolds for dental pulp tissue engineering. *Adv Dent Res* 2011;23:333–339.
17. Duncan HF, El-Karim I. Endodontic S3-level clinical practice guidelines: the European Society of Endodontontology process and recommendations. *Br Dent J* 2025;238:580–586.
18. Nakashima M, Tanaka H. Pulp regenerative therapy using autologous dental pulp stem cells in a mature tooth with apical periodontitis: A case report. *J Endod* 2024;50:189–195.
19. He L, Kim SG, Gong Q, Zhong J, Wang S, Zhou X et al. Regenerative endodontics for adult patients. *J Endod* 2017;43:S57–S64.
20. Cymerman JJ, Nosrat A. Regenerative endodontic treatment as a biologically based approach for non-surgical retreatment of immature teeth. *J Endod* 2020;46:44–50.
21. Kaufman AY, Kahler B. Arrest and repair of inflammatory root resorption after an endodontic regeneration procedure – a hypothesis and case report. *J Endod* 2024;50:1743–1751.
22. Saoud TMA, Mistry S, Kahler B, Sigurdsson A, Lin LM. Regenerative endodontic procedures for traumatized teeth after horizontal root fracture, avulsion, and perforating root resorption. *J Endod* 2016;42:1476–1482.
23. Arnold M. Reparative endodontic treatment of a perforating internal inflammatory root resorption: A case report. *J Endod* 2021;47:146–155.
24. Plotino G, Abella Sans F, Duggal MS, Grande NM, Krastl G, Nagendrababu V et al. European Society of Endodontontology position statement: Surgical extrusion, intentional replantation and tooth autotransplantation: European Society of Endodontontology developed by. *Int Endod J* 2021;54:655–659.
25. Barbosa WL de S, Paranhos LR, Dantas MV de B, Jesuino RD, Ribeiro JMDC, Vieira WA et al. Efficacy of Pulp Revascularization in the treatment of apical periodontitis in mature necrotic teeth: An umbrella review. *Aust Endod J* 2025;51:495–509.
26. Nosrat A, Bolhari B, Saber Tahan S, Dianat O, Dummer PMH. Revitalizing previously treated teeth with open apices: A case report and a literature review. *Int Endod J* 2021;54:1782–1793.
27. Althumairy RI, Teixeira FB, Diogenes A. Effect of dentin conditioning with intracanal medicaments on survival of stem cells of apical papilla. *J Endod* 2014;40:521–525.
28. Arshad S, Tehreem F, Rehab Khan M, Ahmed F, Marya A, Karobari MI. Platelet-rich fibrin used in regenerative endodontics and dentistry: Current uses, limitations, and future recommendations for application. *Int J Dent* 2021;2021:4514598.
29. Patel S, Puri T, Mannocci F, Bakhsh AA. The outcome of endodontic treatment using an enhanced infection protocol in specialist practice. *Br Dent J* 2022;232:805–811.
30. Appel D, Schäfer E, Appel C. Success rate of orthograde endodontic retreatment after failed apicectomy - A retrospective study. *Int Endod J* 2023;56:819–826.
31. García-Guerrero C, Mendoza-Beltrán W, Roldan-Roldan M, Villa-Machado P, Restrepo-Restrepo F. Vertical root fractures: A time-dependent clinical condition. A case-control study in two Colombian populations. *J Clin Exp Dent* 2021;13:e1104–e1111.
32. Soares CJ, Santana FR, Silva NR, Preira JC, Pereira CA. Influence of the endodontic treatment on mechanical properties of root dentin. *J Endod* 2007;33:603–606.
33. Vatankhah M, Najary S, Dianat O. Clinical, radiographic, and histologic outcomes of regenerative endodontic treatment in human immature teeth using different biological scaffolds: A systematic review and meta-analysis. *Curr Stem Cell Res Ther* 2024;19:611–627.
34. Tang Q, Jin H, Lin S, Ma L, Tian T, Qin X. Are platelet concentrate scaffolds superior to traditional blood clot scaffolds in regeneration therapy of necrotic immature permanent teeth? A systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health* 2022;22:589.

Regenerative endodontic therapy – new possibilities for adults

KEYWORDS

pulp regeneration, regenerative endodontic procedure, regenerative endodontic therapy

ABSTRACT

The use of regenerative endodontic therapy (RET) so far has been limited to traumatically damaged immature teeth. Early results are now available demonstrating the successful use of RET in adults as well. The goals of RET are elimination of microbial infection, reestablishment of the nerval supply and nutrition by blood vessels, continuation of lengthening the root and thickening the root dentin, and maintenance of the fracture resistance of the collagen in the root dentin. New, additional relative indications in adults include treatment of pulp necrosis and persistent infection after root canal treatment in teeth with a wide, open apical foramen.



Michael Arnold

Dipl.-Stom.
Praxis für Endodontie und Zahnerhaltung
Königstraße 9
01097 Dresden
E-Mail: endo.arnold@web.de