

日本語主本文翻訳 (表・ 図注を含む)

原題 : Clinical Application of Inflammatory Vital Pulp Therapy in Immature Permanent Teeth: A Retrospective Case Series

著者 : Yibing Wang、Wenqi Zheng、Xiangzi Zhang

PMID : 42719691。DOI : 10.1155/crid/5831702

原文 : <https://www.ebi.ac.uk/europepmc/webservices/rest/PMC13555807/fullTextXML>

原著著作権表示 : Copyright © 2026 Yibing Wang et al. Case Reports in Dentistry published by John Wiley & Sons Ltd.

原著・ 翻訳の利用条件 : CC-BY-4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AI翻訳。独立AI原文レビュー済み。歯科医師による監修は実施していない。原図・ 図中文字・ 別ファイルの補足資料を含まない。日本語への翻訳という改変を加えた。

表中の結合セルは元の値を繰り返して表示する。

原著の書誌情報・ 著者情報

掲載誌: Case Reports in Dentistry

巻: 2026

論文番号: 5831702

編集者 : Nicola Alberto Valente

著者・ 所属 : Yibing Wang (所属1)

著者識別子 (ORCID) : Yibing Wang (<https://orcid.org/0009-0002-0726-7560>)

著者・ 所属 : Wenqi Zheng (所属1)

著者・ 所属 : Xiangzi Zhang (所属1、2)

責任著者 : Xiangzi Zhang

著者メール : Xiangzi Zhang (zhangxiangzi24@ybu.edu.cn)

未成熟永久歯における炎症性生活歯髄療法の臨床応用 : 後ろ向き症例集積研究

背景

歯髄または根尖周囲の病変を有する未成熟永久歯の管理は、歯根の発育不全および根尖の開大により依然として困難である。水酸化カルシウムによるアペキシフィケーションなどの従来の治療法は、長期間にわたる複数回の来院を要し、象牙質壁を脆弱化させる可能性がある一方、mineral trioxide aggregate (MTA) を用いた根尖バリア法は根尖閉鎖を提供するが、歯根の持続的な発育を促進しない。炎症性生活歯髄療法 (IVPT) は、歯根乳頭由来幹細胞 (SCAPs) を保存し、歯根の持続的な成熟を促進する生物学的根拠に基づくアプローチとして登場した。

症例提示

本後ろ向き症例集積研究には、歯髄または根尖周囲疾患と診断された未成熟永久歯を有する4名の男児患者 (8〜12歳) が含まれた。すべての症例は、根尖部の生活組織を保存しつつ、ダブル抗菌ペーストによる根管消毒を含む標準化されたIVPTプロトコルを用いて治療された。臨床的およびエックス線の転帰は、平均32.5か月 (範囲 : 22〜48か月) の追跡期間にわたり評価された。

結果

すべての症例で臨床症状の消失および根尖周囲の治癒が達成された。3症例では完全な根尖閉鎖および歯根の持続的発育が認められたのに対し、1症例では根尖周囲の治癒は得られたものの、根尖閉鎖が不完全であり、軽度の歯の変色を伴う部分的成功を示した。

結論

IVPTは、歯髄または根尖周囲の病変を有する未成熟永久歯に対する有望な治療選択肢となり得る。生存可能な根尖部組織を保存し感染を制御することにより、生理的な歯根の成熟を支援する。より大きなサンプルサイズおよびより長期の追跡を伴うさらなる研究が必要である。

キーワード

ダブル抗菌ペースト

未成熟永久歯

炎症性生活歯髄療法

歯根発育

歯根乳頭由来幹細胞

¹ 口腔科、延边大学附属病院 (延边病院)、延吉、吉林、中国

² 口腔科、医学部、延边大学、延吉、吉林、中国、ybu.edu.cn

日付 (rev-recd) : 2026年7月14日

受付日 : 2026年2月03日

受理日：2026年8月24日

PMC公開日：2026年09月09日

PMC履歴 (pmc-live)：2026年09月10日

PMC最終変更日 (pmc-last-change)：2026年09月10日

電子公開日：2026年9月09日

収録年月：2026年

Wang, Yibing, Zheng, Wenqi, Zhang, Xiangzi, Clinical Application of Inflammatory Vital Pulp Therapy in Immature Permanent Teeth: A Retrospective Case Series, Case Reports in Dentistry, 2026, 5831702, 9 pages, 2026. 10.1155/crid/5831702

Academic Editor: Nicola Alberto Valente

1. 緒言

未成熟永久歯は、歯根発育の不全、根尖の開大、および象牙質壁の菲薄化を特徴とし、これらにより歯内療法が特に困難となる。根尖狭窄の欠如は、効果的な根管充填を妨げ、材料の溢出リスクを増加させ、根尖周囲の治癒および歯根発育を障害する可能性がある[1]。

歯髄または根尖周囲の病変を有する未成熟永久歯に対する現在の治療戦略には、アペキシフィケーション、根尖バリア法、および再生歯内療法 (RET) が含まれる[2]。水酸化カルシウムによるアペキシフィケーションは、長期間 (6〜24か月) にわたる複数回の来院を要し、さらなる歯根発育を促進することなく象牙質壁を脆弱化させる可能性がある[3]。MTAを用いた根尖バリア法は1回の来院で治療が可能であるが、歯根の持続的な成熟を促進しない[4]。RETは歯髄様組織の再生および歯根発育の促進を目的としているが、根管内出血の誘導などの複雑な手技を伴い、その転帰は依然として一定していない[5]。

炎症性生活歯髄療法 (IVPT) は、歯科幹細胞生物学に関する現代的理解に基づく革新的な治療戦略として登場した[6]。IVPTの基本原理解は、歯髄壊死および感染の存在下においても生存可能性を維持し得る歯根乳頭由来幹細胞 (SCAPs) の保存である。歯根乳頭は、歯周組織からの側副血流、低い代謝要求、および高度に血管化された歯小嚢への近接性を含む、その生存を支持する独自の生物学的特性を有している。これらの特徴により、SCAPs は不利な条件下でも生存し、感染が制御された後に歯根の持続的発育に寄与することが可能となる[7]。

先行研究では、持続する根尖周囲の炎症にもかかわらず歯根の成熟が生じ得ることが示されており、これはSCAPsが障害された環境下でも機能的な潜在能力を保持していることを示唆している。

したがって、本後ろ向き症例集積研究は、未成熟永久歯におけるIVPTの臨床的およびエックス線の転帰を評価し、感染制御および歯根発育促進におけるその有効性に焦点を当てることを目的とした。

2. 症例提示および方法

2.1. 研究デザインおよび症例選択

本後ろ向き症例集積研究は、2020年10月から2022年12月の間に延辺大学附属病院口腔科にて実施された。本研究は延辺大学附属病院科学技術倫理委員会の承認を受け（承認番号：20260261）、ヘルシンキ宣言に準拠して実施された。治療および公表に関する書面によるインフォームドコンセントは、全患者の保護者または法定代理人から取得された。すべての患者情報は分析前に匿名化された。

適格基準は以下のとおりであった：（１）未成熟永久歯を有する6～14歳の患者、（２）根尖部エックス線写真にて確認されたNolla発育ステージ8または9に相当する開大根尖、（３）歯内療法的介入を必要とする不可逆性歯髄炎または根尖性歯周炎の臨床的およびエックス線の診断、（４）標準化されたIVPTプロトコル（セクション2.2参照）に従い実施された治療、および（５）最低22か月間の完全な臨床的およびエックス線の追跡データの利用可能性。

除外基準は以下のとおりであった：（１）歯根発育が完了した歯（Nollaステージ10またはエックス線的に根尖閉鎖が確認されたもの）、（２）治療または免疫応答に影響を及ぼし得る全身疾患を有する患者（例：コントロール不良の糖尿病および免疫不全症）、（３）歯根破折、広範な内部もしくは外部歯根吸収、または修復不可能な歯冠構造を有する歯、および（４）追跡記録が不完全または欠落している症例。これらの基準を適用した結果、4症例が本症例集積研究への組み入れに適格であった。

2.2. 治療プロトコル

すべての治療は、ラバーダム防湿下にて、局所麻酔（2%リドカイン、1:100,000エピネフリン含有）のもと、単一の経験豊富な術者により実施された。標準化されたIVPTプロトコルは以下のステップから構成された：

1.

アクセスおよび消毒：保存的な髓室開拓後、壊死歯髄組織および残渣を、根尖部の残存生活組織を損傷しないよう、推定作業長を超える器械操作を行うことなく、根管の歯冠側3分の1および中央3分の1から注意深く除去した。根尖部における残存生活組織の存在は、アクセス形成時の出血特性により臨床的に確認された。根管は1%次亜塩素酸ナトリウム（NaOCl）で穏やかに洗浄し、続いて滅菌生理食塩水で洗浄した。1% NaOClの濃度は、高濃度ではSCAPsに対する細胞毒性が報告されており、残存生活組織の生存を損なう可能性があるため、抗菌効果と生体適合性のバランスを考慮して選択された[8, 9]。

2.

根管内貼薬：ダブル抗菌ペースト（DAP）は、メトロニダゾールおよびシプロフロキサシンの粉末を重量比1:1で混合し、その後クリーム状の稠度が得られるまで滅菌生理食塩水を添加して調製した。生理食塩水の量は、適切な操作性が得られるよう臨床的に調整された。ペーストは、根尖を超える過度な圧力や溢出を避けるよう注意しながら、レントロスパイラルを用いて根尖部の残存生活組織上に穏やかに填入された。

3.

暫間修復とリコール：髄腔開拡部は酸化亜鉛ユージノールセメントで暫間的に封鎖した。患者は2〜3か月後にリコールした。臨床症状が消失し、暫間修復が健全に維持されていた場合、根管内貼薬を除去し、ガラスアイオノマーセメント（GIC）で半永久的に修復した。GICを修復材料として選択した理由は、歯質への化学的接着性、う蝕予防のためのフッ化物放出、および歯根未完成の成長期患者における半永久的修復としての適合性であり、歯根の完全な成熟後に最終的なコンポジットレジン修復を検討し得るためである[10]。症状が持続した場合、根管内貼薬を1回交換し、最終修復の前にさらに1〜2か月後にリコールした。

2.3. 経過観察および治療結果の評価

患者は術後1、3、6、12か月時、およびその後6〜12か月ごとに経過観察を行った。臨床検査には打診、触診、動揺度の評価、および歯髓生活力試験を含めた。

根尖部デンタルX線写真は、平行法およびポジショニングデバイスを用いた標準化されたデジタルX線撮影法により撮影し、再現性を確保した。歯根の発育はNollaのステージ分類を用いて評価した。

治療結果は、再生歯内療法に関する既報の研究[11]から適用した基準に従い、以下のように分類した：

1.

成功：臨床症状の完全な消失、根尖部病変の治癒（X線透過像の消失）、歯根の継続的な発育、および根尖の閉鎖。

2.

部分的成功：根尖部の治癒を伴う臨床症状の消失があるが、根尖の閉鎖が不完全であるか、歯の変色などの合併症が発生した場合。

3.

失敗：臨床症状の持続または根尖部病変の拡大があり、代替治療（例：アペキシフィケーション、根尖バリアテクニック、または抜歯）を要する場合。

2.4. 症例報告

2.4.1. 症例1（Figure 1）

図注（原著：Figure 1）

(A) 術前根尖部デンタルX線写真；(B) 術後1か月のX線写真；(C) 術後3か月のX線写真；(D) 術後6か月のX線写真；(E) 術後2年のX線写真；(F) 術後2.5年のX線写真；(G) 術後3年のX線写真；(H) 術後4年のX線写真；および(I) 4年経過観察時の口腔内写真。

8歳男児が左側下顎臼歯部の4日間の疼痛を主訴に来院した。臨床検査では、左側頬部の軽度腫脹、正常な開口および下顎運動が認められ、第35歯の咬合面に中心結節（dens evaginatus）の破折が認められた。同歯は著明な打診痛（++）、I度の動揺、冷刺激に対する遅延反応、および温熱刺激に対する感受性を示し、頬側歯肉の腫脹を伴っていた。

術前根尖部デンタルX線写真では、Nollaステージ8に相当する根尖孔が開いた未完成歯根が認められ、根尖部X線透過像および歯根膜腔の拡大を伴っていた。中心結節に関連した急性根尖性歯周炎と診断された。

治療は第2.2節に記載した標準化されたIVPTプロトコルに従って実施した。簡潔に述べると、保存的な髓腔開拓および壊死歯髓組織の除去後、根管を1% NaOClおよび滅菌生理食塩水で洗浄し、残存する根尖部の生活組織上にDAPを貼薬し、髓腔を酸化亜鉛ユーージノールセメントで暫間的に封鎖した。

3か月経過観察時、頬側歯肉の軽度腫脹がわずかに残存していたが、歯は無症状であり、打診所見は陰性、動揺はなく、温度反応は正常であった。X線検査では根尖部X線透過像の縮小および根尖孔の狭窄が認められた。暫間修復を除去し、GICで半永久的に修復した。

4年経過観察時、歯は無症状のままであった。X線写真では、根尖閉鎖を伴う歯根の継続的な発育、根尖部における象牙質の沈着、および正常な歯根膜腔の回復が確認され、根尖部X線透過像は認められなかった。口腔内診査では歯の色調は正常であり、修復物は良好に維持されており、成功と判定された。

2.4.2. 症例2 (Figure 2)

図注 (原著 : Figure 2)

(A) 初回治療直後に得られた最初のX線写真 ; (B) 術後1か月のX線写真 ; (C) 術後3か月のX線写真 ; (D) 術後7か月のX線写真 ; (E) 術後10か月のX線写真 ; (F) 術後16か月のX線写真 ; (G) 術後19か月のX線写真 ; (H) 術後31か月のX線写真 ; および(I, J) 31か月経過観察時の口腔内写真。

9歳男児が右側下顎臼歯部の4日間の疼痛を主訴に来院した。臨床検査では、第45歯の咬合面に中心結節 (dens evaginatus) が認められ、著明な打診痛 (++)、動揺なし、および冷刺激に対する過敏性が認められた。顔貌は左右対称であり、開口は正常であった。

なお、本症例では患者が紹介前に地元の歯科医院で緊急的に髓腔開拓を受けていたため、術前根尖部デンタルX線写真を取得することができず、標準化された術前画像撮影が不可能であった。紹介後に取得した最初のX線写真では、Nollaステージ8に相当する根尖孔が開いた歯根が確認され、根尖部X線透過像を伴っていた (Figure 2A)。

治療は第2.2節に記載した標準化されたIVPTプロトコルに従って実施し、症例に固有の変更は加えなかった。

3か月経過観察時、歯は無症状であり、打診所見は陰性、動揺はなく、暫間修復は健全に維持されていた。その後、暫間充填を除去し、GICで半永久的に修復した。

31か月経過観察時、歯は無症状のままであった。X線評価では、根尖部における象牙質の沈着を伴う歯根の継続的な発育が確認され、根尖部X線透過像は認められなかった。口腔内診査では歯の色調は正常であり、修復物は健全に維持されており、成功と判定された。

2.4.3. 症例3 (Figure 3)

図注 (原著 : Figure 3)

(A) 術前根尖部デンタルX線写真 ; (B) 2回目の治療時 ; (C) 術後3か月のX線写真 ; (D) 術後12か月のX線写真 ; (E) 22か月経過観察時の根尖部デンタルX線写真 ; および(F) 22か月経過観察時の口腔内写真。

11歳男児が左側上顎前歯部の数日間の不快感を主訴に来院した。臨床検査では、上口唇の軽度腫脹、正常な開口および下顎運動、ならびに顕著な口臭が認められた。第21歯は広範なう蝕を有し、著明な探針時の圧痛(++)、打診痛陽性(+)、触診陽性(++)、歯肉の発赤、およびII度の動揺を示した。

術前根尖部デンタルX線写真では、第21歯に関連した明瞭な根尖部X線透過像が認められ、歯根の発育はNollaステージ9に相当し、根尖の閉鎖は不完全であった。慢性根尖性歯周炎と診断された。

治療は第2.2節に記載した標準化されたIVPTプロトコルに従って実施し、症例に固有の変更は加えなかった。

3か月経過観察時、軽度の歯肉発赤が残存しており、打診感受性は判定困難であり、触診所見は陰性、動揺はI度であった。その後、GICで半永久的に修復した。

12か月経過観察時、第21歯に軽度の歯冠部変色が認められた。歯は無症状であり、根尖部病変の徴候は認められなかった。治療結果は部分的成功と分類された。

2.4.4. 症例4 (Figure 4)

図注 (原著 : Figure 4)

(A) 術前根尖部デンタルX線写真 ; (B) 術後2か月のX線写真 ; (C) 術後9か月のX線写真 ; (D) 術後10か月のX線写真 ; (E) 27か月経過観察時の根尖部デンタルX線写真 ; および(F) 27か月経過観察時の口腔内写真。

12歳男児が右側下顎臼歯部の1週間の疼痛を主訴に来院した。臨床検査では、右側頬部の軽度腫脹および正常な開口が認められた。口腔内診査では、第45歯の咬合面に中心結節 (dens evaginatus) が認められ、探針時の感受性陽性、著明な打診痛(++)、I度の動揺、冷刺激に対する感受性、および頬側歯肉の発赤が認められた。

術前根尖部デンタルX線写真では、Nollaステージ8に相当する根尖孔が開いた未完成歯根が認められた。中心結節に関連した急性根尖性歯周炎と診断された。

治療は第2.2節に記載した標準化されたIVPTプロトコルに従って実施し、症例に固有の変更は加えなかった。

2か月経過観察時、頬側歯肉の軽度腫脹およびわずかな打診時圧痛が残存していた。暫間修復を除去し、根管を再評価した後、GICで半永久的に修復した。

27か月経過観察時、歯は無症状であり、色調および性状は正常で、打診および触診反応は陰性、動揺はなく、温度反応は正常であった。X線検査では、根尖部の象牙質沈着および完全な根尖閉鎖を伴う歯根の継続的な発育が確認された。治療結果は成功と判定された。

3. 考察

本研究では、IVPTで治療した幼若永久歯4症例を提示し、追跡期間は22〜48か月 (平均 : 32.5か月) であった。RETとは異なり、IVPTは誘導出血による機能的な歯髓様組織の再生ではなく、主として残存する根尖部生活組織の保存を目的とする。全症例で臨床症状の消失および根尖部の治癒が達成され、3症例では根尖閉鎖および歯根の持続的発育が認められた。

本研究で観察された良好な結果は、歯根発育に重要な役割を果たすSCAPsの保存および機能的活性に起因する可能性がある[12]。これまでの研究により、歯髓感染または壊死が存在する場合でも根尖乳頭が生存能を維

持しうることを示されている。この生物学的耐性は、周囲の歯周組織からの側副血液供給、歯髄と比較して低い代謝需要、および高度に血管化された歯小嚢への近接による栄養素および酸素交換の促進を含むいくつかの因子によって支持されている[13]。

さらに、Linら[14]は、RET失敗後の持続的な根尖周囲炎症にもかかわらず幼若歯における歯根成熟の継続を報告しており、SCAPs が不良な条件下でも生存し機能するという証拠を提供している。本研究の所見はこれらの観察と一致しており、効果的な感染制御と根尖部生活組織の保存の組み合わせが、幼若歯における歯根発育の継続を可能にすることを示唆している。

本研究では、有害作用を最小限に抑えつつ効果的な感染制御を達成する目的で、三種混合抗菌薬ペースト (TAP) の代わりにDAPを使用した。シプロフロキサシン、メトロニダゾール、およびミノサイクリンからなるTAPは、その広域抗菌活性により広く使用されてきたが、ミノサイクリンの含有は象牙質中のカルシウムイオンとの相互作用を介した歯の変色と関連付けられている[15]。一方、DAPはミノサイクリンによる変色のリスクを排除しつつ、十分な抗菌効果を維持する。メトロニダゾールは感染根管内に一般的に認められる偏性嫌気性菌に有効であり、シプロフロキサシンは好気性菌および通性嫌気性微生物に対する効果を有する。注目すべきことに、症例3ではミノサイクリンによる着色を回避するためにDAP (メトロニダゾールおよびシプロフロキサシン) を使用したにもかかわらず歯の変色が生じた。いくつかの因子が寄与した可能性がある：(1) 治療前の広範囲な蝕罹患および歯髄壊死が内因性の象牙質着色を引き起こした可能性、(2) 残留血液産物が象牙細管に浸透した可能性--血液汚染はバリア材料の種類にかかわらず高い着色能を示すことが明らかにされている[16]、および(3) 酸化亜鉛ユージオール仮封セメントが著明な歯冠部変色を誘導することが示されており、一般的に使用される歯内療法材料の中で最も高い暗色化効果を示す[17]。したがって、DAPはミノサイクリンによる変色に関連するリスクを排除するものの、他の内因性または治療関連因子による変色を完全に防止することはできない。

幼若永久歯に対する従来の治療戦略と比較して、IVPTにはいくつかの潜在的利点がある。アペキシフィケーションとは異なり、IVPTはより短い治療期間を可能にし、長期間の水酸化カルシウム貼薬に伴う構造的弱体化および根管石灰化を回避する[18]。加えて、IVPTは根尖バリア法と比較して技術的要求が少なく、人工的根尖バリアの設置を必要としない。従来の再生歯内療法[4, 19]とは異なり、IVPTは組織再生のための足場として根管内出血を意図的に誘導しないため、臨床手技が簡素化され、プライマリケア環境における実施可能性が向上する[20]。しかしながら、IVPTには限界がないわけではない。その成功は適切な症例選択、特に十分な残存生活組織の存在および幹細胞生存に好ましい生物学的環境に大きく依存する[21]。さらに、効果的な感染制御は治療結果の重要な決定因子であり続ける[22]。本研究では、これらの条件が満たされた場合に良好な臨床的および画像的結果が達成されており、症例選択基準および感染制御プロトコルの厳格な遵守がIVPTの成功に不可欠であることを示唆している。

本研究の所見は、IVPTが歯髄または根尖周囲病変を有する幼若永久歯に対する簡便かつ費用対効果の高い治療選択肢となりうることを示しており、特に社会経済的資源が限られた患者や長期追跡に対するコンプライアンスが不良な患者に適用可能であると考えられる。効果的な感染制御が達成された場合、本アプローチの基本原則は、残存生活組織を可能な限り最大限に保存し、それにより幼若歯の再生能を活用して生理的な歯根発育の継続を支持することである[23, 24]。

米国歯内療法学会 (AAE) および欧州歯内療法学会 (ESE) が発行した現行の臨床診療ガイドラインは、歯髄壊死を伴う幼若永久歯に対する治療代替法として生活歯髄療法および再生歯内療法を認めている。AAEガイドラインによれば、再生歯内療法の成功は3段階の目標によって評価される：(1) 主要目標：炎症症状の消

失および骨治癒の所見、(2) 副次的目標：歯根長および歯根壁厚の増加、(3) 第三の目標：歯髄検査に対する陽性反応[25]。同様に、ESEの再生処置に関するポジションステートメント（2016）は、成功の転帰として以下を定義している：(1) 炎症症状の欠如、(2) 骨治癒のエックス線の所見、(3) 歯根長および歯根壁厚の増加、(4) 外部歯根吸収の欠如、(5) 歯髄検査に対する陽性反応、(6) 新たな歯根膜形成の徴候、および(7) 歯冠色の不変[26]。本症例シリーズでは、全4症例が主要目標（症状の消失および根尖部の治癒）を達成し、3症例が歯根成熟の継続という副次的目標に一致する画像所見を示した。本稿で記述したIVPTプロトコルは、特に根尖部生活組織の保存およびミノサイクリンを含まない抗菌レジメンの使用に関して、これらのガイドライン推奨と整合する。それにもかかわらず、至適薬剤濃度、貼薬期間、および最終修復のタイミングを含むIVPTの標準化されたプロトコルは、厳密な前向き臨床試験を通じてまだ確立されていない。これらのガイドラインと長期臨床データを統合した今後の研究が、治療プロトコルの改善および幼若永久歯に対するIVPTのエビデンスに基づく推奨の確立のために必要とされる。

本症例シリーズのいくつかの限界を認識すべきである。第一に、全4症例が男性患者であったが、これは偶発的なものであり意図的なものではなかった。女性患者が含まれていないことは所見の一般化可能性を制限しており、今後の研究では治療結果における性差の影響を評価するために、より均衡のとれた性別分布を含めるべきである。第二に、全症例でGICが最終的な歯冠修復材として使用された。GICは十分な封鎖性、フッ素徐放性、および化学的接着性を提供するが、コンポジットレジンやジャイオマー材料と比較して機械的強度および耐摩耗性が劣る。本症例シリーズでは、成長中の患者における暫間修復としてGICが選択され、歯根の完全な成熟後かつ患者の協力が得られた時点で最終的なコンポジット修復への移行が検討されるとの理解に基づいていた。

4. 結論

本症例シリーズは、DAPを用いたIVPTが歯髄または根尖周囲病変を有する幼若永久歯において、長期追跡中の根尖部の治癒およびほとんどの症例における歯根発育の継続を含む良好な臨床的および画像的結果を達成しうることを示している。DAPの使用は、歯の変色のリスクを低減しつつ効果的な感染制御を提供する。しかしながら、その長期的有効性および安全性を確認するために、さらなる大規模前向き研究が必要である。

用語

DAP

二種混合抗菌薬ペースト

IVPT

炎症性生活歯髄療法

MTA

ミネラルトリオキサイドアグリゲート

NaOCl

次亜塩素酸ナトリウム

RET

再生歯内療法

SCAPs

根尖乳頭由来幹細胞

TAP

三種混合抗菌薬ペースト

著者の貢献

Y.W.は臨床データを収集し、原稿を起草した。W.Z.は臨床治療およびエックス線撮影に参加した。X.Z.は研究をデザインし、原稿を批判的に修正した。

資金提供

本論文に対する資金提供は受けていない。

開示

すべての著者が最終原稿を読み、承認した。

倫理に関する声明

本研究プロトコルは延辺大学附属病院科学技術倫理委員会の承認を受け（承認番号：20260261）、ヘルシンキ宣言に従って実施された。治療および出版に関する書面によるインフォームド・コンセントは、全患者の保護者または法定後見人から取得された。すべての患者データは解析前に匿名化され、本論文には特定可能な患者情報や顔写真は含まれていない。

同意

識別可能な画像またはその他の個人的もしくは臨床的詳細の出版に対する書面によるインフォームド・コンセントは、患者の保護者 / 法定後見人から取得された。

利益相反

著者らは利益相反がないことを宣言する。

謝辞

著者らに報告すべき事項はない。

データ利用可能性に関する声明

本研究で使用および / または解析されたデータセットは、合理的な要求に応じて責任著者から入手可能である。

参考文献 (全件・ 原文書誌情報)

1. Burns L. E., Gencerliler N., Terlizzi K., Solis-Roman C., Sigurdsson A., and Gold H. T., Apexification Outcomes in the United States: A Retrospective Cohort Study, *Journal of Endodontics*. (2023) 49, no. 10, 1269-1275, doi: 10.1016/j.joen.2023.07.020, 37517583.; pmid: 37517583; pmcid: PMC10543604

原文XML識別子 : doi 10.1016/j.joen.2023.07.020 ; pmid 37517583 ; pmcid PMC10543604

2. Murray P. E., Review of Guidance for the Selection of Regenerative Endodontics, Apexification, or Apicoectomy for Treatment of Immature Permanent Teeth, *Journal of the American Dental Association*. (2020) 151, no. 6, 416-422, doi: 10.1111/iej.13809; 32450980

原文XML識別子 : doi 10.1111/iej.13809

3. Andreasen J. O., Farik B., and Munksgaard E. C., Long-Term Calcium Hydroxide as a Root Canal Dressing May Increase Risk of Root Fracture, *Dental Traumatology*. (2002) 18, no. 3, 134-137, doi: 10.1034/j.1600-9657.2002.00097.x, 12110105.; pmid: 12110105

原文XML識別子 : doi 10.1034/j.1600-9657.2002.00097.x ; pmid 12110105

4. Lin L. M. and Kahler B., A Review of Regenerative Endodontics: Current Protocols and Future Directions, *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry*. (2017) 51, S41-S51, doi: 10.17096/jiufd.53911, 29354308.; pmid: 29354308; pmcid: PMC5750827

原文XML識別子 : doi 10.17096/jiufd.53911 ; pmid 29354308 ; pmcid PMC5750827

5. Schmalz G., Widbiller M., and Galler K. M., Clinical Perspectives of Pulp Regeneration, *Journal of Endodontics*. (2020) 46, no. 9, S161-S174, doi: 10.1016/j.joen.2020.06.037.; pmid: 32950188

原文XML識別子 : doi 10.1016/j.joen.2020.06.037 ; pmid 32950188

6. Xiao W., Shi W. T., and Wang J., Study of Vital Inflamed Pulp Therapy in Immature Permanent Teeth With Irreversible Pulpitis and Apical Periodontitis, *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*. (2022) 57, no. 3, 287-291, doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20211223-00563, 35280007.; pmid: 35280007

原文XML識別子 : doi 10.3760/cma.j.cn112144-20211223-00563 ; pmid 35280007

7. Kyaw M. S., Kamano Y., Yahata Y., Tanaka T., Sato N., Toyama F., Noguchi T., Saito M., Nakano M., Harada F., and Saito M., Endodontic Regeneration Therapy: Current Strategies and Tissue Engineering Solutions, *Cells*. (2025) 14, no. 6, doi: 10.3390/cells14060422, 40136671.; pmcid: PMC11941292; pmid: 40136671

原文XML識別子 : doi 10.3390/cells14060422 ; pmcid PMC11941292 ; pmid 40136671

8. Martin D. E., De Almeida J. F., Henry M. A. et al., Concentration-Dependent Effect of Sodium Hypochlorite on Stem Cells of Apical Papilla Survival and Differentiation, *Journal of Endodontics*. (2014) 40, no. 1, 51-55, doi: 10.1016/j.joen.2013.07.026, 24331991.; pmid: 24331991

原文XML識別子 : doi 10.1016/j.joen.2013.07.026 ; pmid 24331991

9. Ulin C., Magunacelaya-Barria M., Dahlén G., and Kvist T., Immediate Clinical and Microbiological Evaluation of the Effectiveness of 0.5% Versus 3% Sodium Hypochlorite in Root Canal Treatment: A Quasi-Randomized Controlled Trial, *International Endodontic Journal*. (2020) 53, no. 5, 591-603, doi: 10.1111/iej.13258, 31808947.; pmid: 31808947

原文XML識別子 : doi 10.1111/iej.13258 ; pmid 31808947

10. Khoroushi M. and Keshani F., A Review of Glass-Ionomers: From Conventional Glass-Ionomer to Bioactive Glass-Ionomer, *Dental Research Journal*. (2013) 10, no. 4, 411-420, 24130573. pmid: 24130573; pmcid: PMC3793401

原文XML識別子 : pmid 24130573 ; pmcid PMC3793401

11. Bukhari S., Kohli M. R., Setzer F., and Karabucak B., Outcome of Revascularization Procedure: A Retrospective Case Series, *Journal of Endodontics*. (2016) 42, no. 12, 1752-1759, doi: 10.1016/j.joen.2016.06.021.; pmid: 27726882

原文XML識別子 : doi 10.1016/j.joen.2016.06.021 ; pmid 27726882

12. Kang J., Fan W., Deng Q., He H., and Huang F., Stem Cells From the Apical Papilla: A Promising Source for Stem Cell-Based Therapy, *BioMed Research International*. (2019) 2019, 6104738, doi: 10.1155/2019/6104738.; pmid: 30834270; pmcid: PMC6374798

原文XML識別子 : doi 10.1155/2019/6104738 ; pmid 30834270 ; pmcid PMC6374798

13. Diogenes A. and Hargreaves K. M., Microbial Modulation of Stem Cells and Future Directions in Regenerative Endodontics, *Journal of Endodontics*. (2017) 43, no. 9, S95-S101, doi: 10.1016/j.joen.2017.07.012, 28844309.; pmid: 28844309

原文XML識別子 : doi 10.1016/j.joen.2017.07.012 ; pmid 28844309

14. Lin L. M., Kim S. G., Martin G., and Kahler B., Continued Root Maturation Despite Persistent Apical Periodontitis of Immature Permanent Teeth After Failed Regenerative Endodontic Therapy, *Australian Endodontic Journal*. (2018) 44, no. 3, 292-299, doi: 10.1111/aej.12252, 29336522.; pmid: 29336522

原文XML識別子 : doi 10.1111/aej.12252 ; pmid 29336522

15. Kim J. H., Kim Y., Shin S. J., Park J. W., and Jung I. Y., Tooth Discoloration of Immature Permanent Incisor Associated With Triple Antibiotic Therapy: A Case Report, *Journal of Endodontics*. (2010) 36, no. 6, 1086-1091, doi: 10.1016/j.joen.2010.03.031, 20478471.; pmid: 20478471

原文XML識別子 : doi 10.1016/j.joen.2010.03.031 ; pmid 20478471

16. Fagogeni I., Metlerska J., Lipski M., Falgowski T., Maciej G., and Nowicka A., Materials Used in Regenerative Endodontic Procedures and Their Impact on Tooth Discoloration, *Journal of Oral Science*. (2019) 61, no. 3, 379-385, doi: 10.2334/josn.18-0467, 31378754.; pmid: 31378754

原文XML識別子 : doi 10.2334/josn.18-0467 ; pmid 31378754

17. Xavier S. R., Pilownic K. J., Gastmann A. H., Echeverria M. S., Romano A. R., and Geraldo P. F., Bovine Tooth Discoloration Induced by Endodontic Filling Materials for Primary Teeth, *International Journal of Dentistry*. (2017) 2017, 7401962, doi: 10.1155/2017/7401962.; pmid: 28479918; pmcid: PMC5396471

原文XML識別子 : doi 10.1155/2017/7401962 ; pmid 28479918 ; pmcid PMC5396471

18. Wikström A., Brundin M., Lopes M. F., El Sayed M., and Tsilingaridis G., What Is the Best Long-Term Treatment Modality for Immature Permanent Teeth With Pulp Necrosis and Apical Periodontitis?, *European Archives of Paediatric Dentistry*. (2021) 22, no. 3, 311-340, doi: 10.1007/s40368-020-00575-1, 33420674.; pmid: 33420674; pmcid: PMC8213569

原文XML識別子 : doi 10.1007/s40368-020-00575-1 ; pmid 33420674 ; pmcid PMC8213569

19. Aksoy D. and Kocak S., Management Strategies for Teeth With Open Apex: From Apexification to Regenerative Endodontics, *Cumhuriyet Dental Journal*. (2025) 28, no. 3, 462-468, doi: 10.7126/cumudj.1728795.

原文XML識別子 : doi 10.7126/cumudj.1728795

20. Wei X., Yang M., Yue L., Huang D., Zhou X., Wang X., Zhang Q., Qiu L., Huang Z., Wang H., Meng L., Li H., Chen W., Zou X., and Ling J., Expert Consensus on Regenerative Endodontic Procedures, *International Journal of Oral Science*. (2022) 14, no. 1, doi: 10.1038/s41368-022-00206-z, 36450715.; pmcid: PMC9712432; pmid: 36450715

原文XML識別子 : doi 10.1038/s41368-022-00206-z ; pmcid PMC9712432 ; pmid 36450715

21. Murray P. E., Review of Guidance for the Selection of Regenerative Endodontics, Apexogenesis, Apexification, Pulpotomy, and Other Endodontic Treatments for Immature Permanent Teeth, *International Endodontic Journal*. (2023) 56, no. S2, 188-199, doi: 10.1111/iej.13809, 35929348.; pmid: 35929348

原文XML識別子 : doi 10.1111/iej.13809 ; pmid 35929348

22. Siqueira J. F., Aetiology of Root Canal Treatment Failure: Why Well-Treated Teeth Can Fail, *International Endodontic Journal*. (2001) 34, no. 1, 1-10, doi: 10.1046/j.1365-2591.2001.00396.x, 11307374.; pmid: 11307374

原文XML識別子 : doi 10.1046/j.1365-2591.2001.00396.x ; pmid 11307374

23. Sonoyama W., Liu Y., Yamaza T., Tuan R. S., Wang S., Shi S., and Huang G. T. J., Characterization of the Apical Papilla and Its Residing Stem Cells From Human Immature Permanent Teeth: A Pilot Study, *Journal of Endodontics*. (2008) 34, no. 2, 166-171, doi: 10.1016/j.joen.2007.11.021, 18215674.; pmid: 18215674; pmcid: PMC2714367

原文XML識別子 : doi 10.1016/j.joen.2007.11.021 ; pmid 18215674 ; pmcid PMC2714367

24. Cui D., Yu S., Zhou X., Liu Y., Gan L., Pan Y., Zheng L., and Wan M., Roles of Dental Mesenchymal Stem Cells in the Management of Immature Necrotic Permanent Teeth, *Frontiers in Cell and Developmental Biology*. (2021) 9, 666186, doi: 10.3389/fcell.2021.666186, 34095133.; pmid: 34095133; pmcid: PMC8170050

原文XML識別子 : doi 10.3389/fcell.2021.666186 ; pmid 34095133 ; pmcid PMC8170050

25. American Association of Endodontists, AAE Clinical Considerations for a Regenerative Procedure, 2021, URL: <https://www.aae.org/specialty/clinical-resources/regenerative-endodontics>.

26. Galler K. M., Krastl G., Simon S., Van Gorp G., Meschi N., Vahedi B., and Lambrechts P., European Society of Endodontology Position Statement: Revitalization Procedures, *International Endodontic Journal*. (2016) 49, no. 8, 717-723, doi: 10.1111/iej.12629, 26990236.; pmid: 26990236

原文XML識別子 : doi 10.1111/iej.12629 ; pmid 26990236

原文の整合性と訳注

以下は原著の表記・数値・研究上の限界についての注記です。本文中の原著の数値や結論を無断で訂正したものではありません。

訳注1：要旨と考察は平均追跡期間を32.5か月と記載するが、各症例の本文・図注に示された最終追跡期間は48、31、22、27か月であり、その算術平均は32か月となる。原文内の数値不整合であり、訳文は原文の32.5か月を保持している。

訳注2：標準プロトコルでは症状が持続した場合に貼薬を交換し、さらに1〜2か月後に再診するとしている。一方、症例4は症例固有の変更なしと記載しながら、2か月時点で腫脹と打診時圧痛が残存したままGIC修復を行っている。症例3も3か月時点で発赤・動揺等が残存したまま修復しており、貼薬交換や追加待機の記載がない。標準プロトコルと症例別処置の整合性が原文から確認できない。

訳注3：DAPの抗菌薬重量比1:1とクリーム状になるまで生理食塩水を加える方法は記載されているが、最終薬剤濃度および填入量は示されていない。薬剤曝露量を再現できない原文の方法記載上の限界であり、翻訳の脱落ではない。

訳注4：原文XMLの参考文献2と21には同一のDOI「10.1111/iej.13809」が付されているが、題名、雑誌、年、巻、頁が異なる。文献2はJournal of the American Dental Association (2020)、文献21はInternational Endodontic Journal (2023)と記載されており、原文の書誌情報に不整合がある。どちらのDOIを訂正すべきかは提供資料だけでは確定できないため、原文値を保持する。

原著・翻訳情報

PMID : 42719691 | DOI : 10.1155/crid/5831702

原文確認資料 : <https://www.ebi.ac.uk/europepmc/webservices/rest/PMC13555807/fullTextXML>

原著公開日 : 2026-09-09 | 翻訳日 : 2026-09-17

日本語主本文・表・図注 (原図・図中の文字・別ファイルの補足資料を除く)

原著・翻訳の利用条件 : CC BY 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

非公式AI翻訳・歯科医師による監修未実施。原図、図中の文字、別ファイルの補足資料は含みません。研究方法・数値・結論は原著の記述であり、個別患者への診断・治療指示ではありません。原著と最新の診療指針をご確認ください。