

DOI: 10.18481/2077-7566-2025-21-2-48-57

УДК 616.314.163-08

КАЛЬЦИФИЦИРУЮЩИЙ МЕТАМОРФОЗ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Триголос Н. Н., Мясоедова К. А., Фирсова И. В., Крайнов С. В., Попова А. Н., Александрова И. Ф.

Волгоградский государственный медицинский университет, г. Волгоград, Россия

Аннотация

Кальцифицирующий метаморфоз — это дегенеративное изменение пульпы после травматических повреждений, таких как сотрясение и подвывих. Это состояние проявляется в виде измененных в цвете зубов с рентгенологической облитерацией (полной или частичной) полости зуба и корневых каналов. Однако гистологически всегда присутствуют некоторые остатки пульпарной ткани, но без признаков воспаления.

Целью данного исследования является обзор литературы о причинах возникновения, клинике и современных методах лечения кальцифицирующего метаморфоза.

Материалы и методы. Настоящий литературный обзор основан на изучении 46 источников из баз данных: PubMed, eLibrary, Google Scholar, Cyberleninka.

Результаты. В статье рассматривается анализ данных литературы об этиологии, клинике и современных методах лечения кальцифицирующего метаморфоза. В большинстве случаев консервативного эстетического и/или восстановительного лечения зубов с кальцифицирующим метаморфозом бывает достаточно. Оно включает отбеливание, виниры или комбинацию этих двух методов. Если показано эндодонтическое лечение, прохождение, очистка и формирование кальцифицированных каналов клинически возможны. Современная эндодонтия позволяет достичь успеха в 80% случаев. В последнее время для лечения кальцифицированных корневых каналов используется статическая или динамическая компьютерная навигация.

Выходы. На основании проведенного анализа литературы можно заключить, что рутинное эндодонтическое вмешательство показано только в случаях, когда зуб симптоматичен с наблюдаемыми перирадикулярными изменениями. Рекомендуется проводить регулярный мониторинг травмированного зуба с кальцифицирующим метаморфозом в течение как минимум 3–5 лет, чтобы оценить и следить за развитием любых новых периапикальных изменений в случаях недавно травмированных зубов (1–2 года). При признаках развития верхушечного периодонита рутинное эндодонтическое лечение успешно в большинстве случаев. Статическая или динамическая компьютерная навигация являются перспективными методами обнаружения кальцинированных корневых каналов в особо сложных случаях.

Ключевые слова: кальцифицирующий метаморфоз, облитерация корневого канала, кальцификация корневого канала, травма зуба, направленная эндодонтия, статическая компьютерная навигация, динамическая компьютерная навигация

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Наталья Николаевна ТРИГОЛОС ORCID ID 0000-0002-2301-1082

к.м.н., доцент кафедры терапевтической стоматологии, Волгоградский государственный медицинский университет, г. Волгоград, Россия
ntrigolos@mail.ru

Ксения Алексеевна МЯСОЕДОВА ORCID ID 0000-0002-2620-6918

ассистент кафедры терапевтической стоматологии, Волгоградский государственный медицинский университет, г. Волгоград, Россия
kseni4ka91@bk.ru

Ирина Валерьевна ФИРСОВА ORCID ID 0000-0002-1293-5650

д.м.н., профессор, заведующий кафедрой терапевтической стоматологии, Волгоградский государственный медицинский университет, г. Волгоград, Россия
firsstom@mail.ru

Сергей Валерьевич КРАЙНОВ ORCID ID 0000-0001-7006-0250

к.м.н., доцент кафедры терапевтической стоматологии, Волгоградский государственный медицинский университет, г. Волгоград, Россия
krajnosergej@yandex.ru

Александра Никифоровна ПОПОВА ORCID ID 0000-0002-0905-0827

к.м.н., доцент кафедры терапевтической стоматологии, Волгоградский государственный медицинский университет, г. Волгоград, Россия
kseni4ka91@bk.ru

Ирина Федоровна АЛЕХАНОВА ORCID ID 0000-0002-0878-8117

к.м.н., доцент кафедры терапевтической стоматологии, Волгоградский государственный медицинский университет, г. Волгоград, Россия
aifzub@bk.ru

Адрес для переписки: Наталья Николаевна ТРИГОЛОС

400105, Россия, г. Волгоград, пр. Ленина, д. 111, кв. 33

+7(917)845-62-35

ntrigolos@mail.ru

Образец цитирования:

Триголос Н. Н., Мясоедова К. А., Фирсова И. В., Крайнов С. В., Попова А. Н., Александрова И. Ф.

КАЛЬЦИФИЦИРУЮЩИЙ МЕТАМОРФОЗ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ). Проблемы стоматологии. 2025; 2: 48-57.

© Триголос Н. Н. и др., 2025

DOI: 10.18481/2077-7566-2025-21-2-48-57

Поступила 14.06.2025. Принята к печати 06.07.2025

DOI: 10.18481/2077-7566-2025-21-2-48-57

CALCIFIC METAMORPHOSIS (REVIEW)

Trigolos N.N., Myasoedova K.A., Firsova I.V., Krajnov S.V., Popova A.N., Alekhanova I.F.

Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia

Annotation

Calcific metamorphosis is a degenerative change in the pulp after traumatic injuries such as concussion and subluxation. This condition manifests itself as discolored teeth with radiographic obliteration (complete or partial) of the tooth cavity and root canals. However, histologically, some remnants of pulp tissue are always present, but without any inflammation.

The aim of this study is to review the literature on the etiology, clinical features and modern treatment methods for calcific metamorphosis.

Methodology. This literature review is based on the analysis of 46 sources: PubMed, eLibrary, Google Scholar, Cyberleninka.

Results. The article presents a review of the etiology, clinical features and modern treatment of calcific metamorphosis. In most cases, conservative aesthetic and/or restorative treatment of teeth with calcific metamorphosis is sufficient. It includes bleaching, veneers or a combination of these two methods. If endodontic treatment is indicated, location, cleaning and shaping of these calcified canals are clinically possible. Modern endodontic techniques allow achieving success in 80% of cases. Recently, static and dynamic computer navigation has been used for the treatment of calcified root canals.

Conclusions. Based on the performed literature analysis, it can be concluded that routine endodontic intervention is indicated only in cases where the tooth is symptomatic with observed periradicular changes. It is recommended to conduct regular monitoring of the traumatized tooth with calcific metamorphosis for at least 3–5 years to evaluate and follow the development of any new periapical changes in cases of recently traumatized teeth (1–2 years). In cases of signs of apical periodontitis, routine endodontic treatment is successful in most cases. Static or dynamic computer navigation are promising methods for locating calcified root canals in particularly difficult cases.

Keywords: calcific metamorphosis, pulp canal obliteration, pulp canal calcification, dental trauma, guided endodontics, static computer navigation, dynamic computer navigation

The authors declare no conflict of interest.

Natalia N. TRIGOLOS ORCID ID 0000-0002-2301-1082

PhD in Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Therapeutic Dentistry, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia
ntrigolos@mail.ru

Ksenia A. MYASOEDOVA ORCID ID 0000-0002-2620-6918

Teaching Assistant, Department of Therapeutic Dentistry, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia
kseni4ka91@bk.ru

Irina V. FIRSOVA ORCID ID 0000-0002-1293-5650

Grand PhD in Medical Sciences, Head of the Department of Therapeutic Dentistry, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia
firsstom@mail.ru

Sergej V. KRAJNOV ORCID ID 0000-0001-7006-0250

PhD in Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Therapeutic Dentistry, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia
krajnosergej@yandex.ru

Alexandra N. POPOVA ORCID ID 0000-0002-0905-0827

PhD in Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Therapeutic Dentistry, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia
kseni4ka91@bk.ru

Irina F. ALEKHANOVA ORCID ID 0000-0002-0878-8117

PhD in Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Therapeutic Dentistry, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia
aifzub@bk.ru

Correspondence address: Natalia N. TRIGOLOS

111 Lenin Avenue, apt. 33, Volgograd, 400105, Russia
+7 (917) 845-62-35
ntrigolos@mail.ru

For citation:

Trigolos N.N., Myasoedova K.A., Firsova I.V., Krajnov S.V., Popova A.N., Alekhanova I.F.
CALCIFIC METAMORPHOSIS (REVIEW). Actual problems in dentistry. 2025; 2: 48-57. (In Russ.)
© Trigolos N.N. et al., 2025
DOI: 10.18481/2077-7566-2025-21-2-48-57

Received 14.06.2025. Accepted 06.07.2025

Введение

Кальцификация корневого канала или кальцифицирующий метаморфоз (КМ), как определено Американской ассоциацией эндодонтистов (Словарь эндодонтических терминов, 2020) — это реакция пульпы на травму, характеризующаяся быстрым отложением твердой ткани в пространстве канала; рентгенологически все пространство может выглядеть облитерированным из-за обширного отложения твердых тканей, даже если некоторая часть пространства пульпы сохраняется в гистологических срезах [1].

Это явление также называется дистрофической кальцификацией, диффузной кальцификацией и кальцифицирующей дегенерацией, облитерацией корневого канала, облитерацией канала пульпы.

Кальцификацию пульпарной ткани можно классифицировать как полную или частичную. Полная облитерация встречается редко и обычно сопровождается тонкой нитью пульпарной ткани [2]. Частичная облитерация, в первую очередь затрагивает полость зуба, в то время как корневой канал не подвергается кальцификации. Кроме того, кальцифицирующий метаморфоз классифицируют на локализованную облитерацию, часто связанную с травмой, и генерализованную облитерацию, обычно приписываемую старению [2].

Распространенность локализованной облитерации корневого канала, связанной с травмой зуба, такой как переломы коронки и корня, вывихи зуба, реплантация, составляет от 3,8% до 24% [3].

Генерализованная облитерация, происходящая как часть процесса старения, наблюдается у пожилых людей и может привести к полностью облитерированной или узкой полости зуба и часто вызвана патологической стираемостью, глубокими кариозными поражениями и глубокими реставрациями [4].

Лечение кальцифицированных каналов представляет собой проблему из-за сужения полости зуба и просветов каналов, что усложняет определение расположения полости доступа, прохождение и препарирование корневого канала. Кальцификация увеличивает риск ошибок в процессе очистки и формирования корневого канала [5].

Целью данного исследования является обзор литературы о причинах возникновения, клинике и современных методах лечения кальцифицирующего метаморфоза. Наиболее актуальным является вопрос о показаниях к эндодонтическому лечению.

Материалы и методы

Проведен поиск источников научной литературы по ключевым словам: кальцифицирующий метаморфоз, облитерация корневого канала, кальцификация корневого канала, травма зуба, направленная эндодонтия, статическая компьютерная навигация, динамическая компьютерная навигация, в иностранной литературе: calcific metamorphosis, pulp canal obliteration, pulp

canal calcification, dental trauma, guided endodontics, static computer navigation, dynamic computer navigation. Использовались следующие базы данных: PubMed, eLibrary, Google Scholar, Cyberleninka. Из 93 источников научных публикаций выбраны 46, которые включали книги, оригинальные полнотекстовые статьи, систематические обзоры и мета-анализы, опубликованные в ведущих стоматологических научных журналах: Journal of Endodontics (JOE), International Endodontic Journal, Quintessence International, Dental Traumatology, Стоматология, Эндодонтия today и др.

Результаты и обсуждение

Облитерация пульпарного канала часто встречается после вывихов. Огинни А. О. и Адекоя-Софовора К. А. из 168 травмированных передних зубов с дислокациями у 47,6% и 31,6% наблюдали частичную и полную облитерацию пространств пульповых каналов соответственно, у 20,8% зубов наблюдали некроз пульпы. Ушибы и подвывихи чаще приводили к облитерации пространств пульповых каналов, тогда как переломы зубов чаще приводили к некрозу пульпы ($p < 0,001$). Травмы, полученные в течение 1-го и 2-го десятилетия жизни, чаще приводили к облитерации корневых каналов, тогда как травмы, полученные в 3-м десятилетии, приводили к большему проценту некрозов пульпы [2].

Точный механизм облитерации пульпарного канала неизвестен. Было высказано предположение, что симпатический/парасимпатический контроль кровотока к одонтобластам изменяется, что приводит к образованию неконтролируемого reparativного дентина [6]. Другая теория заключается в том, что кровоизлияние и образование сгустков крови в пульпе после травмы образуют очаг для последующей кальцификации, если пульпа остается жизнеспособной [6]. Одно исследование [7] показало, что облитерацию пульпарного канала обычно можно было диагностировать в течение первого года после травмы и она чаще встречалась в зубах с открытыми верхушками ($> 0,7$ мм рентгенологически), с экструзивными, латеральными и жестко шинированными вывихами [7].

Гипотезы о причинах возникновения кальцифицирующего метаморфоза

Облитерацию пульпарного пространства можно рассматривать как ответ на более или менее выраженное ограничение нейроваскулярного снабжения пульпы, которое после заживления приводит к повышенному отложению дентина [8, 9].

Облитерация канала может быть связана с неконтролируемой минерализацией из-за нарушения нормального функционирования самоограничивающегося фермента пирофосфатазы [10]. Сниженная проницаемость капилляров после увеличения количества ионов кальция может снизить приток сыворотки в пульпе зуба, что приведет к низкой концентрации ингибирующих ионов пирофосфата.

Потеря парасимпатического торможения может вызвать снижение кровоснабжения пульпы, что может привести к клеточной респираторной депрессии, что приведет к патологической минерализации пульпы и, в конечном итоге, к облитерации корневого канала [6].

Тен Кейт определил этот процесс как отложение третичного или восстановительного дентина в ответ на раздражение или травму [11].

Эвери Д. предположил, что КМ может быть вызван снижением сосудистого потока в пульпе, которое наблюдалось во время стимуляции симпатического нерва, что может затем привести к угнетению дыхания пульпы, что в конечном итоге закончится патологической минерализацией и облитерацией пульпарного канала [12].

Торнек С. Д. предположил, что отложение твердой ткани является либо результатом стимуляции уже существующих одонтобластов, либо потерей регуляторного механизма [13].

Невозможно определить степень минерализации с помощью клинического или рентгенологического обследования [14]. Полная рентгенологическая облитерация пространства корневого канала не обязательно означает отсутствие пульпы или пространства канала. В большинстве случаев гистологическая оценка корневой пульпы каналов, которые были рентгенологически диагностированы как полностью облитерированные, почти всегда подтверждает наличие узкого канала пульпы, поэтому термин «минерализация» предпочтительнее термина «облитерация» [14, 15].

Гистологические признаки кальцифицирующего метаморфоза

Гистопатологический вид облитерации канала пульпы показывает три типа кальцифицированной ткани: дентиноподобную (49%), костеподобную (19%) и фиброзную (9%) [2, 6].

Поройская А. В. с соавт. в зубах с облитерированной пульпарной камерой морфологически отмечали большое количество заместительного дентина с признаками дистрофической минерализации и облитерацией корневых каналов. Снижено при этом содержание клеточных элементов — фибробластов, одонтобластов и недифференцированных клеток, уровень жидкости в межклеточном аморфном веществе уменьшен. Межклеточное пространство расширено. Отмечается слабая васкуляризация пульпы, количество кровеносных сосудов уменьшено. По всей поверхности пульпы отмечается большое количество дентиклей, при этом проходимость канала нарушена, но канал полностью не закрыт [16].

Холан Д. наблюдал трубчатые структуры, простирающиеся по всей длине канала пульпы и отделенные от корневого дентина нормальной тканью пульпы, но соединенные с дентином в некоторых из исследованных участков [17]. Структуры имели гистологический вид остеодентина с клеточными включениями в кольцевидных образованиях. Кроме того, зубы

с КМ не показали никакого воспалительного компонента, указывающего на патологический процесс [18], а гистологические изменения характеризуются увеличением содержания коллагена и различным уменьшением количества клеток [6]. Таким образом, на основании этих гистопатологических исследований, зубы с КМ не являются показаниями для эндодонтического лечения.

Клиника кальцифицирующего метаморфоза

Кальцифицирующий метаморфоз обычно наблюдается у молодых людей во фронтальной группе зубов и может быть распознан клинически уже через 3 месяца после травмы, но обычно обнаруживается примерно через год [6].

Зуб, пораженный КМ, обычно имеет более темный желтый цвет, чем соседние зубы. Это может быть связано с облитерацией пространства пульпарного канала, при этом полость пульпы заполняется темным третичным дентином, в результате чего зуб становится менее прозрачным [2, 6, 18].

Обычно нет реакции на температурные раздражители (тепло, холод), но электроодонтодиагностика может вызвать замедленную или, иногда, нормальную реакцию. Чувствительность к перкуссии, как правило, отсутствует.

Зубы с КМ могут иметь или не иметь симптомов, в зависимости от состояния ткани пульпы в минерализованных каналах (т. е. нормальные или инфицированные). Последний случай может в конечном итоге привести к апикальному периодонтиту и развитию симптомов по мере его прогрессирования [9].

Рентгенологически КМ проявляется облитерацией пространства пульпового канала с нормальным пространством периодонтальной связки и неповрежденной компактной пластинкой альвеолы [9]. В случаях, связанных с апикальным периодонтитом, может наблюдаться расширение периодонтального пространства в проекции верхушки корня или перирадикулярная рентгенопрозрачность с субъективными симптомами или без них.

Как правило, облитерация пространства пульпарного канала прогрессирует в коронково-апикальном направлении. Первым рентгенологическим признаком облитерации является уменьшение размера коронковой части пульповой камеры. За этим следует постепенное сужение всего корневого канала. Иногда каналы могут быть вообще не видны [9].

Рентгенографически КМ можно классифицировать как [8, 9, 14]:

- частичная облитерация пульпы, ограниченная коронковой частью пульповой камеры
- полная облитерация корневых каналов.

Однако различия в частоте частичной или полной облитерации пространства пульповых каналов статистически не значимы по отношению к типу повреждения [2].

Конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) в диагностике кальцифицирующего метаморфоза

Традиционные рентгенографические исследования имеют неотъемлемые ограничения, такие как отсутствие трехмерной информации и суммация анатомических образований, которые ограничивают их использование и значимость в эндодонтии. Среди различных недавно введенных технологий КЛКТ показала многообещающее использование и применение для эндодонтических целей и решения эндодонтических проблем [19, 20].

Преимущества КЛКТ следующие:

- точное воспроизведение и измерение в 2D и 3D (воксели изотропны)
- точность изображения
- быстрое сканирование
- сканирование определенной области
- КЛКТ менее сложен и менее дорог, чем КТ-сканеры.
- Недостатки изображений КЛКТ включают в себя:
 - разрешение ниже, чем у обычных рентгенограмм
 - повышенная радиологическая доза (эквивалентно 2–3 периапикальным рентгенограммам)
 - рассеивание
 - усиление жесткости пучка
 - артефакты в виде полос при наличии металлических реставраций (амальгамы), металлических штифтов и искусственных коронок.

КЛКТ следует рассматривать только в ситуациях, когда обычные системы визуализации не дают достаточного количества информации для проведения надлежащего эндодонтического лечения [19, 20].

Поскольку качество изображения сканов КЛКТ считается превосходным для оценки периодонтальной связки, эмали, дентина и пульпы, оно бесценно для диагностики и лечения зубов с необычной анатомией корневых каналов и такими состояниями, как кальцифицирующий метаморфоз. КЛКТ оказалась весьма полезной для локализации и характеристики корневых каналов, а также для идентификации нелеченых каналов и необычного количества корней [19–21]. Таким образом, КЛКТ играет потенциальную и многообещающую роль в диагностике и лечении КМ, поскольку точное местоположение и анатомию системы корневых каналов можно оценить легко и точно [21]. КЛКТ применяется при эндодонтическом лечении осложнений КМ направленной эндодонтией.

Осложнения кальцифицирующего метаморфоза

Поскольку гистологически узкий пульпарный канал почти всегда существует в рентгенологически полностью облитерированном канале, поздним осложнением после облитерации пространства пульпарного канала является некроз пульпы [6, 8]. Хотя точный патогенез этого осложнения до сих пор не ясен, кариес, восстановительное лечение, неадекватные реставрации коронок, новая (вторичная) травма или другие незначи-

тельные повреждения могут нарушить и без того уязвимое сосудистое снабжение в суженном апикальном отверстии, наряду с постоянной прогрессирующей окклюзией сосудов пульпы из-за образования твердой ткани [8]. Несколько клинических исследований зарегистрировали вторичный некроз пульпы после облитерации пульпарного канала в 1–16% случаев [6, 8, 9, 20]. Сообщалось, что частота некроза пульпы увеличивается с течением времени [2]. В клиническом исследовании Огинни А.О. с соавт. сообщалось о более высокой частоте некроза пульпы после КМ [23]. Согласно исследованию, в 33% случаев облитерации пульпарного канала развиваются периапикальные поражения с отрицательной реакцией на тест на чувствительность [23]. Все случаи некроза пульпы после КМ в значительной степени связаны с зубами, которые были серьезно повреждены, и с зубами с полным формированием корней на момент травмы [8].

Более ранние исследования показали, что вторичный некроз пульпы чаще наблюдается в травмированных зубах с полной облитерацией пульпы, и особенно в тех зубах, которые показали быструю облитерацию после травмы (т.е. полную облитерацию канала в течение двух лет после травмы) [24, 25]. Однако, исследование Огинни А.О. с соавт. показало, что зубы с частичной облитерацией (70%) пространства пульпового канала с большей вероятностью будут симптоматичными, чем зубы с полной облитерацией (21%) [23]. Некроз обнаруживается менее чем в 7% травматически индуцированной кальцифицированной пульпе [3, 6].

Лечение кальцифицирующего метаморфоза

Мониторинг и наблюдение: рекомендуемое начальное лечение случаев кальцифицирующего метаморфоза заключается в периодическом наблюдении и обследовании на жизнеспособность пульпы (ЭОД и холодовая пробы) и рентгенографии. Рекомендуется регулярное наблюдение за травмированным зубом в течение, как минимум, пяти лет [26].

Эстетическое лечение: обычно только отбеливание (одного) пораженного зуба может эффективно решить проблему изменения цвета в этих случаях. Более низкая проницаемость кальцифицированных зубов требует более длительного лечения. Иногда для получения более эстетичного результата могут быть рекомендованы виниры для измененных в цвете передних зубов с большими (старыми) реставрациями, переломами или дефектами [5].

Эндодонтическое лечение

На основании гистологической оценки и, принимая во внимание низкую частоту некроза пульпы в зубах с КМ, вопреки старым убеждениям [27], рутинное эндодонтическое вмешательство на зубах с КМ не рекомендуется [8, 28]. Поэтому вместо того, чтобы считать эндодонтическое лечение профилактической мерой, его следует проводить только в тех случаях, когда появляются признаки или симптомы апикального периодонита [3, 6, 7] в зубах с болезненностью

при перкуссии, показателями PAI (периапикального индекса) ≥ 3 и отрицательным ответом на тест на чувствительность [29]. Эндодонтическое лечение также может служить основой для внутреннего отбеливания измененных в цвете зубов с апикальным периодонитом или без него [8]. Успех лечения корневых каналов основан на правильной санации, очистке и дезинфекции пространства корневых каналов от микробных загрязнений и остатков пульпы, и обтурации каналов. В таких случаях это может быть клинически труднодостижимо из-за кальцифицированной полости зуба и корневых каналов, а также из-за необычной морфологии каналов, созданной процессом кальцификации [30]. Прогноз для зубов с облитерированными каналами, леченных эндодонтически, показал эффективность 80–89% [4]. Сообщается, что эффективность для КМ без периапикальных изменений составляет — 98%, а с предоперационными периапикальными рентгенопрозрачностями — 63% [31].

Полость доступа в этих зубах должна быть нормального размера и формы, как в зубах с полостью зуба без кальцификации. Это помогает удалить темный третичный дентин, тем самым способствуя прозрачности коронки [9], и полость доступа может быть подготовлена на глубину, равную глубине дна пульповой камеры в некальцинированном зубе. Не менее важно тщательно изучить нормальную анатомию корневого канала, геометрическую схему устьев каналов и их возможные вариации. При необходимости не следует накладывать коффердам, пока не будут идентифицированы каналы, чтобы гарантировать, что подготовка полости доступа следует длиной оси корней [6, 8, 9].

Исследование и идентификация устьев каналов является самым сложным этапом эндодонтического лечения кальцифицированных каналов. Самым важным инструментом для обнаружения и исследования устьев является эндодонтический зонд DG-16. Иногда изменение цвета дентина в центре корня будет указывать на положение канала. Третичный дентин, покрывающий входы в каналы, можно отличить от физиологического вторичного дентина по его более белому/непрозрачному виду по сравнению с желтым/серым цветом вторичного дентина. Использование увеличительных устройств (лупы и микроскопы), трансиллюминации, ультразвука, контрастных веществ и т. д. одинаково полезно для обнаружения устьев корневых каналов [6, 8, 9, 32].

Круглые боры с длинной шейкой и круглые боры с удлиненным стержнем, облегчают идентификацию устьев в кальцинированных каналах. Удлиненный стержень этих боров улучшает видимость врача во время этой сложной процедуры [9].

Преимущество использования ультразвуковых наконечников перед борами для обнаружения минерализованных каналов заключается в том, что они сохраняют высокую эффективность резки без вращения, что повышает безопасность, улучшает контроль инструмента и снижает риск перфораций. На начальном этапе

следует использовать более крупные ультразвуковые насадки с алмазным покрытием. Впоследствии следует использовать более тонкие и длинные насадки в более глубоких участках [32]. Иногда можно использовать контрастное вещество для обнаружения корневого канала, который не был виден на более ранних рентгенограммах. Ватный шарик, пропитанный контрастным веществом (10% йодид калия), помещают в полость доступа и закрывают цинк-эвгеноловым цементом. Это облегчает проникновение и легкую визуализацию устьев каналов. По сравнению с невооруженным глазом использование увеличительного устройства, особенно микроскопов, улучшает видимость устья канала и корневого канала на гораздо большей глубине, избегая ненужного удаления структуры зуба и вероятности перфораций. Это более простой и точный метод определения местоположения устьев каналов [9].

Чтобы снизить вероятность перфорации зуба, необходимо обязательно получить рентгенографическое подтверждение расположения корневого канала. С этой целью нужно сделать не менее двух рентгенограмм под разными углами, чтобы установить угол наклона бора/сверла в корне и положение корневого канала. Обычно делается одна прямая рентгенограмма под углом и еще одна с мезиальной или дистальной проекции. Это основано на гипотезе, что информация, предоставляемая как дистально, так и мезиально смещеными проекциями, идентична. Но это справедливо только в тех случаях, когда головка бора и отверстие канала находятся далеко друг от друга. При более глубоком проникновении бора, по мере того как головка бора становится ближе к проекции канала, информация, собранная с учетом только одной проекции, либо мезиальной, либо дистальной, может быть недостаточной, вводящей в заблуждение и неверной [33]. Поэтому в большинстве случаев третья рентгенограмма является обязательной. Первая рентгенограмма прямая, вторая рентгенограмма сделана под горизонтальным углом 20° с конусом, смещенным дистально, а третья рентгенограмма также имеет горизонтальный угол 20° с конусом, направленным мезиально. Последние две рентгенограммы дают информацию об отношении бора к просвету канала в щечно-язычном измерении. Используя информацию, собранную этими рентгенограммами, бор перемещается апикально до тех пор, пока головка бора и устье исследуемого корневого канала не сойдутся [33].

После того, как устье открыто и канал идентифицирован зондом DG16, в устье помещается небольшой К-файл (файл 06, 08 или 10) с лубрикантом и аккуратно продвигается в корневой канал, вращая его, как при заводке часов. Также доступны жесткие ручные файлы, которые специально разработаны для прохождения минерализованных каналов. Они имеют режущий кончик и менее склонны к деформации или изгибу по сравнению с обычными файлами из нержавеющей стали. Предлагаемый подход заключается в чередовании размеров 8 и 10 К-файлов

с мягким движением, как при подзаводке часов, с минимальным вертикальным давлением и регулярной заменой инструментов. Другая специализированная техника, включающая К-файлы с модифицированными кончиками, была разработана для проникновения в суженные каналы. Кончик 10 К-файла срезан по диагонали для большей тонкости. Этот модифицированный К-файл, характеризующийся тонко сужающимся кончиком и соответствующей жесткостью, может эффективно проходить через суженные или кальцинированные каналы [34]. Недавно были разработаны инструменты для прохождения корневых каналов в сложных случаях. Эти инструменты изготавливаются из специального закаленного или армированного волокном сплава нержавеющей стали и имеют различную конструкцию для повышения их жесткости и устойчивости к изгибу. Некоторые из этих файлов имеют модифицированные кончики, конусность и конструкцию поперечного сечения для проникновения через анатомические препятствия и кальцинированные структуры. Инструменты, характеризующиеся уменьшенной конструкцией канавки, или те, которые имеют повышенную прочность стержня, демонстрируют улучшенную эффективность при проникновении в сильно кальцинированные корневые каналы. Предполагается, что файлы, имеющие режущий кончик для захвата дентина, имеют преимущество для начальной инструментации кальцинированных корневых каналов. Файлы, изготовленные из специальной твердой волокнистой нержавеющей стали, что делает их более жесткими, чем К-файлы, имеют специальную конструкцию с D-образным поперечным сечением, меньшим количеством канавок и не режущим кончиком, обеспечивающим большой потенциал прохождения. Они могут эффективно использоваться для проникновения через кальцинированные каналы. Обычно поломка файла может произойти из-за приложения чрезмерного крутящего момента при попытке расширить канал, который имеет меньший диаметр, чем не режущая часть кончика файла. Если размеры канала меньше, чем кончик файла, следует использовать режущий кончик. Если канал больше кончика, файл с менее эффективным режущим кончиком поможет предотвратить транспортировку. В кальцинированных каналах канал всегда меньше кончика файла. Надавливание на кальцинированное устье канала не режущим кончиком может вызвать увеличенную крутящую нагрузку без какого-либо продвижения файла внутри суженного канала. Режущий кончик будет более полезен при попытке пройти кальцинированные каналы. Кончики файлов с большей режущей эффективностью могут использоваться для снижения напряжений на файле, когда они используются в суженном или кальцинированном канале. Файл с повышенной режущей эффективностью на кончике сможет нарезать свой путь через кальцинированный корневой канал. Эффективный файл требует меньшего давления, крутящего момента и времени для резки дентина [35].

Для прохождения кальцинированных каналов также могут использоваться никель-титановые файлы для эндомотора. Форма такого файла формируется путем электроискровой эрозии никель-титановой проволоки. Электроискровая техника изменяет молекулярную структуру поверхности файла, потенциально укрепляя файл, не влияя на его гибкость [35]. Результатом является шероховатая поверхность с повышенной эффективностью резки. Кончик файла при нажатии на кальцификацию прорезает свой путь, создавая начальное углубление в кальцинированном устье канала. Вырезание пилотного углубления облегчается с использованием техники непрерывного хелатного орошения. Обычно существует крошечный канальный путь с меньшим сопротивлением, чем склеротические стенки. Эффективный кончик инструмента с хорошим динамическим сопротивлением изгибу сможет проникнуть через жесткие кальцификации, следуя по пути наименьшего сопротивления. По мере того, как инструмент проникает глубже в корень, сопротивление изгибу инструмента увеличивается, поскольку боковые стенки канала не позволяют инструменту изгибаться. Любое приложенное осевое давление будет передаваться на кончик файла. Этот тип прохождения кальцинированного канала можно назвать прохождением тест-активации динамического сопротивления изгибу (dynamic buckling resistance activation test (BRAT)). Прохождение BRAT определяется как активация файла с активным или динамическим кончиком эндомотором против кондиционированной кальцинированной ткани, которая блокирует траекторию канала [5].

Кончик вращаемого эндомотором инструмента прикрепляется к точке кальцификации без активации. Инструмент активируется в соответствии с инструкциями производителя, и файл проталкивается в осевом направлении против кальцификации (длительное нажатие и отпускание). Боковое изгибающее движение файла ограничено стенками канала. Когда достигнуто продвижение файла, файл извлекается из канала, и канал проверяется на проходимость ручным файлом. Если проходимость достигнута, то можно продолжить стандартные процедуры лечения корневых каналов. Если проходимость не достигнута, ту же процедуру можно попытаться провести глубже внутри кальцификации.

Кондиционирование кальцинированной ткани, блокирующей каналы, для эффективности техники BRAT предпочтительно выполняется с помощью концепции непрерывной хеляции [5].

Непрерывную хеляцию можно определить как концепцию использования одной смеси слабого хелатора с NaOCl на протяжении всей процедуры подготовки корневого канала, не вызывая снижения антимикробной и протеолитической активности гипохлорита натрия [5, 36]. Этидроновая кислота, также известная как «1-гидроксиэтилиден-1, 1-бисфосфонат» НЕВР или НЕДР, представляет собой мягкий биосовместимый хелатор, используемый в прямом сочетании

с гипохлоритом натрия для образования комплексного депротеинизирующего, дезинфицирующего и хелатирующего раствора. Это единственный хелатор, доступный в виде сертифицированного коммерческого продукта, «Dual Rinse HEDP», одобренного для эндодонтического использования [5].

Объединяя слабый хелатор с раствором гипохлорита натрия, можно создать единую смесь ирригационного раствора с растворяющей способностью мягких тканей и антибактериальными свойствами с хелатирующей способностью, которую можно считать хорошей альтернативой традиционному протоколу ирригации (последовательное орошение) с гипохлоритом натрия с последующим использованием сильного хелатора, такого как ЭДТА. Очевидным преимуществом является то, что для очистки и деконтаминации корневого канала требуется только один раствор, что также сокращает время ирригации и обеспечивает лучшую подготовку стенок корневого канала для материалов для пломбирования корней. Методика BRAT облегчается концепцией непрерывного хелирования без риска негативного воздействия, которое сильные хелаторы оказывают на стени канала. Непрерывное хелирование может свести к минимуму риск создания ложного канала [5].

Хирургическая эндодонтия

В случаях КМ, когда корневые каналы не могут быть найдены и пройдены с помощью обычного эндодонтического лечения, применяется эндодонтическая хирургия и последующее ретроградное пломбирование [37].

Направленная эндодонтия

Для минимизации риска технических ошибок и сокращения времени лечения был разработан метод компьютерной терапии, позволяющий локализовать кальцинированные корневые каналы минимально инвазивным способом, и был введен термин «направленная эндодонтия» [38, 39].

Направленная эндодонтия подразделяется на статическую управляемую технику (Static Guided Technique) и динамическую управляемую технику (Dynamic Guided Technique). Подготовка направляемого эндодонтического доступа может осуществляться двумя способами: статическая эндодонтия подразумевает использование шаблона, тогда как динамическая навигация основана на маркерах, расположенных во рту пациента, и системе камер.

Статическая (шаблонная) направленная эндодонтия

Техника направленной эндодонтии основана на принципе шаблонной управляемой имплантологии. Для реализации требуется КЛКТ с высоким разрешением для визуализации кальцинированных корневых каналов. Это дополняется цифровым сканированием поверхности, которое может быть создано либо напрямую через интраоральный сканер, либо путем оцифровки гипсовой модели с помощью лабораторного сканера. Для виртуального планирования полости доступа требуется программное обеспечение

для наложения данных КЛКТ в формате DICOM на данные сканирования поверхности. В выровненном наборе 3D-данных виртуальное изображение бора в масштабе должно быть размещено так, чтобы его кончик достигал видимой части кальцинированного корневого канала. После планирования положения бора и положения виртуальной гильзы над режущим краем, виртуальный шаблон разрабатывается с помощью конструктора шаблонов. Для этой цели можно использовать различные коммерчески доступные программные приложения для виртуального планирования [40]. Для изготовления шаблона применяется 3D-печать. Для шаблонов используются различные фотополимерные смолы или титан. После установки шаблона со встроенной гильзой в рот пациента бор перемещается на несколько миллиметров в глубину на низкой скорости, направляемой гильзой. Если канал успешно обнаружен, то можно проводить обычное лечение корневого канала. Результаты лечения не зависят от клинического опыта врача [5]. Ограничение процедуры заключается в том, что статическую эндодонтию можно выполнять только на прямых корнях или прямых частях изогнутых корней. Кроме того, требуется больше времени на планирование, и доза облучения увеличивается из-за обязательной КЛКТ. Расходы для пациента также увеличиваются из-за выполнения КЛКТ, изготовления шаблона. Направленная статическая эндодонтия в задних зубах затруднена из-за ограниченного доступа [41, 42].

Динамическая навигация (Dynamic Guided Technique)

Динамическая навигация (ДН) использует данные предоперационной КЛКТ для виртуального планирования предварительного лечения и управления в реальном времени позиционированием бора во время процедуры. Недавно ДН привлекла внимание для использования в направленной эндодонтии, поскольку имеет некоторые преимущества перед статической эндодонтией: ее можно использовать в боковых отделах, она позволяет изменять траекторию препарирования благодаря его отслеживанию в реальном времени, и пациент может лечиться за один сеанс.

Предоперационное сканирование КЛКТ экспонируется и импортируется в программное обеспечение DNS, а полость доступа планируется с использованием данных КЛКТ. Во время лечения датчики отслеживания прикрепляются к челюсти пациента через реперную точку X-образного зажима на зубе и на стоматологическом наконечнике, а затем трехмерная оптическая система отслеживания отслеживает датчики и регулирует глубину и угол препарирования в реальном времени. Это приводит к навигации в реальном времени, которая визуализируется на мониторе. Во время подготовки полости доступа положение и движение бора в различных плоскостях сечения трехмерного набора данных немедленно отображаются на мониторе. В отличие от статической навигации, эта процедура

не является независимой от врача и требует определенного навыка. Одним из преимуществ перед статической навигацией является то, что этап изготовления шаблона исключается, и, таким образом, пациенты с сильной болью могут лечиться быстрее [43].

На основании системного обзора и мета-анализа публикаций Кешарани П. Р. с соавт. пришли к выводу, что компьютерная статическая и динамическая навигация показала высокую точность в определении устьев корневых каналов (96,2%). Кроме того, методы компьютерной навигации удаляют меньше зубной ткани по сравнению с традиционными методами и занимают меньше времени при подготовке эндодонтического доступа [44].

Недостатками динамических навигационных систем являются высокие затраты на приобретение навигационной системы. Кроме того, в отличие от статической эндодонтии, динамическая эндодонтия требует определенного уровня практических навыков для подготовки точных полостей доступа, врачу непривычно смотреть на монитор, а не на пациента. Некоторые из имеющихся в настоящее время в продаже систем громоздки по размеру и могут быть несколько непрактичны в использовании.

Направленная эндодонтия с использованием статической или динамической навигации кажется безопасным и минимально инвазивным методом обна-

ружения кальцинированных корневых каналов. Динамическая навигация, в частности, все еще имеет большой потенциал для дальнейшего развития. Однако необходимы дальнейшие высококачественные клинические исследования как статической, так и динамической навигации [40].

Заключение

Кальцифицирующий метаморфоз — это клинически наблюдаемое дегенеративное изменение пульпы после травматических повреждений, таких как сотрясение и подвыпих. Это состояние обычно проявляется в виде темных (желтых) зубов с рентгенологической облитерацией (полной или частичной) пульпарной полости (коронковой и корневой). Поскольку частота некроза пульпы после КМ довольно низкая (1–16%), консервативный (эстетический и/или реставрационный) подход является предпочтительной первой линией лечения [45, 46].

Эндодонтическое вмешательство требуется только в том случае, если зуб становится симптоматичным с развитием перирадикулярной патологии. Рекомендуется проводить регулярный мониторинг травмированного зуба в течение как минимум 3–5 лет, чтобы оценить и следить за развитием любых новых периапикальных изменений в случаях недавно травмированных зубов (1–2 года).

Литература/References

1. Vinagre A., Castanheira C., Messias A., Palma P.J., Ramos J.C. Management of Pulp Canal Obliteration-Systematic Review of Case Reports. Medicina (Kaunas). 2021;57(11):1237. <https://doi.org/10.3390/medicina5711237>
2. Oginni A.O., Adekoya-Sofowora C.A. Pulpal sequelae after trauma to anterior teeth among adult Nigerian dental patients. BMC Oral Health. 2007;7:11. <https://doi.org/10.1186/1472-6831-7-11>
3. Robertson A. A retrospective evaluation of patients with uncomplicated crown fractures and luxation injuries. Endodontics & dental traumatology. 1998;14(6):245-256. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.1998.tb00848.x>
4. Maeda H. Aging and Senescence of Dental Pulp and Hard Tissues of the Tooth. Frontiers in cell and developmental biology. 2020;8:605996. <https://doi.org/10.3389/fcell.2020.605996>
5. Chaniotis A., Dias S., Chaniotis A. Negotiation of Calcified Canals. Journal of clinical medicine. 2024;13(9):2703. <https://doi.org/10.3390/jcm13092703>
6. Andreasen J.O., Andreasen F.M., Andersson L. eds. Textbook and Color Atlas of Traumatic Injuries to the Teeth. 5th Edition. Oxford, UK: Wiley-Blackwell; 2018. 1064 p.
7. Andreasen F.M., Zhiyi Y., Thomsen B.L., Andersen P.K. Occurrence of pulp canal obliteration after luxation injuries in the permanent dentition. Endodontics & dental traumatology. 1987;3(3):103-115. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.1987.tb00611.x>
8. de Cleen M. Obliteration of pulp canal space after concussion and subluxation: endodontic considerations. Quintessence international. 2002;33(9):661-669.
9. Amir F.A., Gutmann J.L., Witherspoon D.E. Calcific metamorphosis: a challenge in endodontic diagnosis and treatment. Quintessence international. 2001;32(6):447-455.
10. Heithersay G.S. Calcium hydroxide in the treatment of pulpless teeth with associated pathology. Journal of the British Endodontic Society. 1975;8(2):74-93. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.1975.tb01000.x>
11. Nanci A. Ten Cate's Oral Histology: Development, Structure, and Function. 6th ed. St. Louis: Mosby; 2003. 445 p. <https://archive.org/details/tencatesoralhist0006nanc>
12. Avery J. Repair potential of the pulp. Journal of endodontics. 1981;7(5):205-212. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(81\)80177-X](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(81)80177-X)
13. Torneck C.D. The clinical significance and management of calcific pulp obliteration. The Alpha omega. 1990;83(4):50-54.
14. Abbott P.V., Yu C. A clinical classification of the status of the pulp and the root canal system. Australian dental journal. 2007;52(1 Suppl):S17-S31. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2007.tb00522.x>
15. Levin L.G., Law A.S., Holland G.R., Abbott P.V., Roda R.S. Identify and define all diagnostic terms for pulpal health and disease states. Journal of endodontics. 2009;35(12):1645-1657. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.09.032>
16. Поройская А.В., Македонова Ю.А., Адамович Е.И., Спагреева В.В., Самарина Я.П. Морфологические особенности облитерированной системы корневых каналов. Волгоградский научно-медицинский журнал. 2020;(1):18-21. [Poroyetskaya A.V., Makedonova Yu.A., Adamovich E.I., Spagreeva V.V., Samarina Ya.P. Morphological features of obliterated root canal system. Volgograd Journal of Medical Research. 2020;(1):18-21. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43776201>
17. Holan G. Tube-like mineralization in the dental pulp of traumatized primary incisors. Endodontics & dental traumatology. 1998;14(6):279-284. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.1998.tb00853.x>
18. Gopikrishna V., Parameswaran A., Kandaswamy D. Criteria for management of calcific metamorphosis: review with a case report. Indian journal of dental research. 2004;15(2):54-57.
19. Tyndall D.A., Rathore S. Cone-beam CT diagnostic applications: caries, periodontal bone assessment, and endodontic applications. Dental clinics of North America. 2008;52(4):825-841, vii. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2008.05.002>
20. Patel S. New dimensions in endodontic imaging: Part 2. Cone beam computed tomography. International endodontic journal. 2009;42(6):463-475. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2008.01531.x>
21. Nair M.K., Nair U.P. Digital and advanced imaging in endodontics: a review. Journal of endodontics. 2007;33(1):1-6. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.08.013>
22. Andreasen F.M. Pulpal healing after luxation injuries and root fracture in the permanent dentition. Endodontics & dental traumatology. 1989;5(3):111-131. Erratum in: Endod Dent Traumatol. 2012;28(5):403. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.1989.tb00348.x>
23. Oginni A.O., Adekoya-Sofowora C.A., Kolawole K.A. Evaluation of radiographs, clinical signs and symptoms associated with pulp canal obliteration: an aid to treatment decision. Dental traumatology. 2009;25(6):620-625. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.2009.00819.x>
24. Jacobsen I., Kerekes K. Long-term prognosis of traumatized permanent anterior teeth showing calcifying processes in the pulp cavity. Scandinavian journal of dental research. 1977;85(7):588-598. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.1977.tb02119.x>
25. Bauss O., Röhling J., Rahman A., Kiliaridis S. The effect of pulp obliteration on pulpal vitality of orthodontically intruded traumatized teeth. Journal of endodontics. 2008;34(4):417-420. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.01.006>

26. Feiglin B. Dental pulp response to traumatic injuries--a retrospective analysis with case reports. *Endodontics & dental traumatology*. 1996;12(1):1-8. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.1996.tb00087.x>
27. Patterson S.S., Mitchell D.F. Calcific metamorphosis of the dental pulp. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1965;20(1):94-101. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(65\)90272-0](https://doi.org/10.1016/0030-4220(65)90272-0)
28. Schindler W.G., Gullickson D.C. Rationale for the management of calcific metamorphosis secondary to traumatic injuries. *Journal of endodontics*. 1988;14(8):408-412. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(88\)80126-2](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(88)80126-2)
29. Robertson A., Andreasen F.M., Bergenholz G., Andreasen J.O., Norén J.G. Incidence of pulp necrosis subsequent to pulp canal obliteration from trauma of permanent incisor. *Journal of Endodontics*. 1996;22(10):557-560. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(96\)80018-5](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(96)80018-5)
30. Shuler S.E., Howell B.T., Green D.B. Unusual pattern of pulp canal obliteration following luxation injury. *Journal of endodontics*. 1994;20(9):460-462. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)80039-7](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)80039-7)
31. Akerblom A., Hasselgren G. The prognosis for endodontic treatment of obliterated root canals. *Journal of endodontics*. 1988;14(11):565-567. [https://doi.org/10.1016/s0099-2399\(88\)80092-x](https://doi.org/10.1016/s0099-2399(88)80092-x)
32. Plotino G., Pameijer C.H., Grande N.M., Somma F. Ultrasonics in endodontics: a review of the literature. *Journal of endodontics*. 2007;33(2):81-95. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.10.008>
33. Khabbaz M.G., Serefoglu M.H. The application of the buccal object rule for the determination of calcified root canals. *International endodontic journal*. 1996;29(4):284-287. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.1996.tb01383.x>
34. McCabe P.S., Dummer P.M. Pulp canal obliteration: an endodontic diagnosis and treatment challenge. *International endodontic journal*. 2012;45(2):177-197. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01963.x>
35. McSpadden J. Mastering Endodontic Instrumentation. Canada: Cloudland Institute; 2007. 238 p.
36. Malhotra N., Mala K. Calcific metamorphosis. Literature review and clinical strategies. *Dental update*. 2013;40(1):48-50, 53-54, 57-58 *passim*. <https://doi.org/10.12968/denu.2013.40.1.48>
37. Lieblich S.E. Current Concepts of Periapical Surgery: 2020 Update. *Oral and maxillofacial surgery clinics of North America*. 2020;32(4):571-582. <https://doi.org/10.1016/j.coms.2020.07.007>
38. Krastl G., Zehnder M.S., Connert T., Weiger R., Kühl S. Guided Endodontics: a novel treatment approach for teeth with pulp canal calcification and apical pathology. *Dental Traumatology*. 2016;32(3):240-246. <https://doi.org/10.1111/edt.12235>
39. Zehnder M.S., Connert T., Weiger R., Krastl G., Kühl S. Guided endodontics: accuracy of a novel method for guided access cavity preparation and root canal location. *International endodontic journal*. 2016;49(10):966-972. <https://doi.org/10.1111/iej.12544>
40. Krug R., Reich S., Connert T., Kess S., Soliman S., Reymus M. et al. Guided endodontics: a comparative *in vitro* study on the accuracy and effort of two different planning workflows. *International journal of computerized dentistry*. 2020;23(2):119-128.
41. Connert T., Weiger R., Krastl G. Present status and future directions - Guided endodontics. *International endodontic journal*. 2022;55(Suppl 4):995-1002. <https://doi.org/10.1111/iej.13687>
42. Jonaityte E.M., Bilvinaite G., Drukteinis S., Torres A. Accuracy of Dynamic Navigation for Non-Surgical Endodontic Treatment: A Systematic Review. *Journal of clinical medicine*. 2022;11(12):3441. <https://doi.org/10.3390/jcm11123441>
43. Dianat O., Nosrat A., Tordik P.A., Aldahmash S.A., Romberg E., Price J.B. et al. Accuracy and Efficiency of a Dynamic Navigation System for Locating Calcified Canals. *Journal of endodontics*. 2020;46(11):1719-1725. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.07.014>
44. Kesharani P.R., Aggarwal S.D., Patel N.K., Patel J.A., Patil D.A., Modi S.H. The effect of computer aided navigation techniques on the precision of endodontic access cavities: A systematic review and meta-analysis. *Endodontics Today*. 2024;22(3):244-253. <https://doi.org/10.36377/ET-0041>
45. Громова С.Н., Пышкина О.А., Малышева О.А., Расков А.А., Коледаева А.К. Клинический случай лечения перелома корня зуба (наблюдение в течение 4-х лет). *Эндодонтия Today*. 2022;20(2):148-155. [Gromova S.N., Pyshkina O.A., Maltseva O.A., Raskov A.A., Koledaeva A.K. A clinical case of treatment of a tooth root fracture (4 years follow-up). *Endodontics Today*. 2022;20(2):148-155. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.36377/1726-7242-2022-20-2-148-155>
46. Короленкова М.В., Рахманова М.С. Исходы травмы постоянных зубов у детей. *Стоматология*. 2019;98(4):116-121. [Korolenkova M.V., Rakhmanova M.S. Outcomes of traumatic dental injuries in children. *Stomatology*. 2019;98(4):116-122. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/stomat201998041116>