

Получена: 24 Апреля 2023 / Принята: 02 Августа 2023 / Опубликовано online: 31 Августа 2023

DOI 10.34689/SH.2023.25.4.031

УДК 616.314.163-002.2:615.4

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГИДРООКСИ КАЛЬЦИЯ, МТА И БИОДЕНТИНА В СОЗДАНИИ АПИКАЛЬНОГО БАРЬЕРА В НЕСФОРМИРОВАННЫХ КОРНЯХ ПОСТОЯННЫХ ЗУБОВ ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ АПИКАЛЬНОМ ПЕРИОДОНТИТЕ

**Мадина А. Курманалина¹, Айгуль М. Суманова²,
Виолетта Р. Деточкина², Жанара А. Шабанбаева²,**

¹НАО «Западно-Казахстанский медицинский университет имени Марата Оспанова», г. Актобе, Республика Казахстан;

²НАО «Медицинский университет Астана». г. Астана, Республика Казахстан.

Резюме

Введение. Хронический апикальный периодонтит является одной из важных проблем в детской эндодонтии, приводящих к задержке развития и формирования корня постоянных зубов. Апексификация считается важным методом лечения несформированных постоянных зубов с открытой верхушкой.

Цель: анализ литературы по вопросу эффективности гидрооксида кальция, МТА и Биодентина в клиническом и рентгенологическом успехе апексификации некротизированных несформированных постоянных зубов.

Стратегия поиска. Поиск осуществлялся в базах данных PubMed, Web of Science, Scopus, eLibrary, Cochrane Library, Google Scholar, Research Gate: рандомизированные контролируемые испытания, проспективные и ретроспективные исследования на английском и русском языках, датированные 2012 - 2022 гг. Использовались ключевые слова по следующим разделам: патология: «apical periodontitis», «immature permanent teeth»; лечение: «apexification»; препараты: «calcium hydroxide», «MTA», «Biodentine»; исследования: «randomized controlled trial». Всего в анализ было включено 7 полнотекстовых исследований.

Результаты. Анализ литературы показал, что Биодентин является наиболее эффективным с клинической и рентгенологической точек зрения, сокращает количество посещений пациента до одного визита, имеет лучшие эксплуатационные характеристики, отвердевая внутри канала за 12 минут и позволяя одномоментно obturировать корневого канал. МТА обладает менее благоприятными характеристиками, вызывая потемнение эмали зуба. Однако появление модификаций в виде белого МТА нивелировали указанные недостатки. Гидроокись кальция является бюджетным и достаточно эффективным решением для апексификации, который и по сей день находит широкое распространение как за рубежом, так и в Республике Казахстан.

Выводы. Из трех представленных материалов для апексификации Биодентин и МТА являются наиболее клинически и рентгенологически эффективными материалами. Гидроокись кальция остается препаратом выбора, хотя и имеет ряд недостатков.

Ключевые слова: апикальный периодонтит, апексификация, несформированные постоянные зубы, гидроксид кальция, МТА, Биодентин.

Abstract

COMPARATIVE ANALYSIS OF CALCIUM HYDROXIDE, MTA AND BIODENTINE IN FORMATION AN APICAL BARRIER IN IMMATURE PERMANENT TEETH WITH CHRONIC APICAL PERIODONTITIS

**Madina A. Kurmanalina¹, Aigul M. Sumanova²,
Violetta R. Detochkina², Zhanara A. Shabanbayeva²,**

¹ NJSC «West Kazakhstan Marat Ospanov Medical University», Aktobe, Republic of Kazakhstan;

² NJSC «Astana Medical University». Astana, Republic of Kazakhstan.

Introduction. Chronic apical periodontitis is one of the major problems in pediatric endodontics, resulting in delayed development and root formation of permanent teeth. Apexification is an important treatment for immature permanent teeth with open apex.

Aim: Literature analysis on the issue of calcium hydroxide, MTA and Biodentine effectiveness in the clinical and radiological success of apexification of necrotic immature permanent teeth.

Search strategy. The search was carried out in the databases PubMed, Web of Science, Scopus, eLibrary, Cochrane Library, Google Scholar, Research Gate: randomized controlled trials, prospective and retrospective studies in English and Russian, dated 2012 - 2022. Key words were used for the following sections: pathology: "apical periodontitis", "immature

permanent teeth"; treatment: "apexification"; medicaments: "calcium hydroxide", "MTA", "Biodentine"; studies: "randomized controlled trial". A total of 7 full-text studies were included in the analysis.

Results. Literature analysis revealed that Biodentine is the most effective according to clinical and radiological results. It reduces the number of patients' visits up to one visit. It has the best performance characteristics, as well as setting time is about 12 minutes. As a result, one-stage root canal obturation is possible. MTA has less favorable outcomes, causing staining of tooth enamel. However, the presence of MTA modifications like white MTA diminished these shortcomings. Calcium hydroxide is a reasonable and quite effective solution for apexification. To this day, calcium hydroxide is widely used both abroad and in the Republic of Kazakhstan.

Conclusions. Between three apexification materials presented, Biodentine and MTA are the most clinically and radiologically effective materials. Calcium hydroxide remains as the drug of choice, although it has several disadvantages.

Key words: apical periodontitis, apexification, immature permanent teeth, calcium hydroxide, MTA, Biodentine.

Түйіндеме

ЖЕТІЛМЕГЕН ТҰРАҚТЫ ТІСТЕРДІҢ СОЗЫЛМАЛЫ АПИКАЛЬДЫ ПЕРИОДОНТИТІ КЕЗІНДЕ АПИКАЛЬДЫ БАРЬЕР ҚАЛЫПТАСТЫРУДАҒЫ КАЛЬЦИЙ ГИДРОКСИДІ, МТА ЖӘНЕ БИОДЕНТИН ПРЕПАРАТТАРЫНЫҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ САРАПТАМАСЫ

**Мадина А. Курманалина¹, Айгуль М. Суманова²,
Виолетта Р. Деточкина², Жанара А. Шабанбаева²,**

¹ «Марат Оспанов атындағы Батыс Қазақстан медицина университеті» КеАҚ, Ақтөбе қ., Қазақстан Республикасы;

² «Астана медицина университеті» КеАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Кіріспе. Созылмалы апикалды периодонтит тұрақты тістер түбірлерінің дамуы мен қалыптасуын тежейтін балалар эндодонтиясының негізгі мәселелерінің бірі болып табылады. Апексификация - түбір ұшы ашық жетілмеген тұрақты тістерді емдеудің маңызды әдісі болып саналады.

Мақсаты: Некроздалған жетілмеген тұрақты тістердің апексификациясының клиникалық және рентгенологиялық жетістігінде кальций гидроксиді, МТА және Биодентиннің тиімділігі мәселесі бойынша әдебиетті сараптау.

Ізденіс стратегиясы. Ізденіс Pubmed, Web of Science, Scopus, eLibrary, Cochrane Library, Google Scholar, Research Gate дерекқорларында 2012 - 2022 жылдар аралығындағы ағылшын мен орыс тілдеріндегі рандомизацияланған бақыланатын сынақтар, перспективалық және ретроспективті зерттеулер жүргізілді. Келесі бөлімдер үшін негізгі сөздер қолданылды: патология: «апикалды периодонтит», «жетілмеген тұрақты тістер»; емдеу: «апексификация»; препараттар: «кальций гидроксиді», «МТА», «Биодентин»; зерттеулер: «рандомизацияланған бақыланатын сынақ». Талдауға барлығы 7 толық мәтінді зерттеу енгізілді.

Нәтижелер. Әдебиеттің сараптамасы Биодентин клиникалық және рентгенологиялық тұрғыдан науқастың келу жиілігін бір қабылдауға дейін шектейді, 12 минут ішінде өзек ішінде қатайып, бір сатылы obturationға мүмкіндік беретін, ең тиімді қолданыс сипаттарына ие екендігін көрсетті. МТА тіс кіреуесінің қараюын тудырғанымен, ақ МТА модификациясы айтылған кемшіліктерді жасырады. Кальций гидроксиді - күні бүгінге дейін шетелде де, Қазақстан Республикасында да кеңінен қолданылатын апексификацияға арналған бюджеттік әрі тиімді шешім болып табылады.

Қорытындылар. Ұсынылған үш апексификациялық материалдардың ішінде Биодентин мен МТА клиникалық және рентгенологиялық тұрғыдан ең тиімді материалдар болып табылады. Кальций гидроксиді бірнеше кемшіліктері болғанымен, таңдамалы препараттардың бірі ретінде қолданысқа ие.

Негізгі сөздер: апикалды периодонтит, апексификация, жетілмеген тұрақты тістер, кальций гидроксиді, МТА, Биодентин.

Библиографическая ссылка:

Курманалина М.А., Суманова А.М., Деточкина В.Р., Шабанбаева Ж.А. Сравнительный анализ гидроокиси кальция, МТА и Биодентина в создании апикального барьера в несформированных корнях постоянных зубов при хроническом апикальном периодонтите // Наука и Здравоохранение. 2023. 4(Т.25). С. 258-269. doi 10.34689/SH.2023.25.4.031

Kurmanalina M.A., Sumanova A.M., Detochkina V.R., Shabanbayeva Zh.A. Comparative analysis of calcium hydroxide, MTA and Biodentine in formation an apical barrier in immature permanent teeth with chronic apical periodontitis // *Nauka i Zdravookhranenie* [Science & Healthcare]. 2023, (Vol.25) 4, pp. 258-269. doi 10.34689/SH.2023.25.4.031

Курманалина М.А., Суманова А.М., Деточкина В.Р., Шабанбаева Ж.А. Жетілмеген тұрақты тістердің созылмалы апикалды периодонтиті кезінде апикалды барьер қалыптастырудағы кальций гидроксиді, МТА және Биодентин препараттарының салыстырмалы сараптамасы // Ғылым және Денсаулық сақтау. 2023. 4 (Т.25). Б. 258-269. doi 10.34689/SH.2023.25.4.031

Актуальность

Хронический апикальный периодонтит является одним из важных проблем в детской эндодонтии, приводящих к гибели зоны роста корня, и как следствие, к остановке развития и формирования корней постоянных зубов. Несформированный корень характеризуется тонкими дентинными стенками корневого канала [51, 42, 72], широко открытыми верхушками [27], нарушением соотношения коронка/корень [39, 81], а также высокой предрасположенностью к переломам зуба [12, 82].

Апексификация является важным методом лечения несформированных постоянных зубов с открытой верхушкой [11, 34]. Методика осуществляется путем конденсации биосовместимого материала в апикальную часть канала корня зуба с целью стимулирования формирования остеоэпителиального барьера, позволяющего сохранить зуб и предотвратить дальнейшее инфицирование и повреждение окружающих тканей [31, 71, 80, 84].

Известно, что успешность апексификации напрямую зависит от внутриканальных препаратов. Первоначально, «золотым стандартом» лечения была гидроокись кальция (ГК) с камфорным монохлорфенолом, который был предложен Кайзером в 1964 году [49, 58]. Препарат создавал подходящую среду для формирования твердых тканей благодаря высокому значению pH и антимикробной активности [62, 83]. Хотя ГК широко используется в клинической практике и дает успешные результаты, у препарата есть существенные недостатки. Поскольку формирование твердотканного барьера происходит только апикально, без удлинения или созревания корня, стенки канала несформировавшегося зуба остаются тонкими и короткими [9]. Апикальный твердотканый барьер, созданный гидроксидом кальция, описывается как колпачок, мост или вросший клин, образованный многослойным некрозом с последующей минерализацией. Он часто пористый, не сплошной и состоит из цемента, дентина, костной ткани или «остеоэпителина» [31]. Предполагается, что высокий pH гидроокиси кальция потенциально разрушает любые клетки с регенеративным потенциалом, которые могли бы способствовать дальнейшему созреванию корней или регенерации пульпы [16, 20]. Помимо появления у зуба склонности к переломам после лечения [36], известно о высокой пористости материала [33], его усадки [57], рассасывании [6, 9], высокой продолжительности периода восстановления кости, а также о необходимости нескольких сеансов посещения [67, 69].

Для преодоления указанных недостатков в качестве альтернативы в 1993 г. доктором Торабинежадом был предложен одноэтапный метод апексификации с использованием минерал триоксид агрегата (МТА) [77]. Показано, что МТА является материалом с высокой биосовместимостью, образующий апикальный твердотканый барьер. МТА представляет собой смесь портландцемента, оксида висмута, двухкальциевого силиката, трехкальциевого силиката, трехкальциевого алюмината, тетракальциевого алюмоферрита, а также других минеральных оксидов. Помимо того, что

препарат нетоксичен, он стимулирует цементагенез [21, 86]. При отверждении (реакция гидратации) материал создает высокощелочную среду pH 12,5, выделяя ионы кальция и гидроксила, стимулирует дифференцировку одонтобластов, является рентгеноконтрастным, обладает высокой устойчивостью к растворению и противомикробной активностью [28, 38]. Недостатками данного препарата является длительное время отверждения (24 часа) [40], сложность введения, особенно при лечении многокорневых зубов [30, 44], окрашивание твердых тканей зуба за счет содержащегося в составе оксида висмута (добавляется в материал для придания рентгеноконтрастности) [63, 66]. Более того, МТА способен ослаблять ткани зуба, вследствие образующегося остаточного гидроксида кальция [13, 25, 32, 82].

С целью устранения недостатков МТА был введен Биодентин (БД), который появился на стоматологическом рынке в 2009 году [15, 17, 60]. Материал разработан с использованием цементной технологии на основе МТА и улучшения некоторых свойств данных типов цемента, таких как физические качества и удобство использования [65, 79]. БД представляет собой биоактивный эндодонтический цемент (биокерамика), имитирующий дентин, с применением активной биосиликатной технологии, изготовленный на основе трехкальциевых и двухкальциевых силикатов [2, 85]. Материал затвердевает в течение 12 минут, что позволяет сократить количество визитов во время процедуры апексификации. После отверждения, его pH достигает 11,7 [73], а прочностные характеристики не уступают МТА [5, 14]. Согласно последним исследованиям, Биодентин способствует большей выживаемости и дифференцировке стволовых клеток апикального сосочка и увеличению одонтобластического маркера, способствуя герметизации корневых каналов с открытой верхушкой и периапикальному заживлению [22, 26, 78].

Цель: анализ литературы по вопросу эффективности гидроокиси кальция, МТА и Биодентина в апексификации некротизированных несформированных постоянных зубов.

Задачи исследования:

1. Оценить клиническую эффективность гидроокиси кальция, МТА и Биодентина на основании отдаленных результатов лечения.
2. Оценить рентгенологическую эффективность, т.е. влияние данных препаратов на восстановление очагов деструкции костной ткани в периапикальной зоне.
3. Выявить клинические недостатки и неблагоприятные последствия применения указанных материалов.

Материалы и методы: PICO в таблице 1.

Стратегия поиска. При планировании и проведении исследования мы придерживались требований PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews) для систематических обзоров. Критерии включения указаны в таблице 2, опубликованные в период с 2012 по 2022 гг. на английском или русском языке. Поиск осуществлялся в базах данных Pubmed, Web of Science,

Scopus, eLibrary, Cochrane Library, Google Scholar, Research Gate. Поиск был дополнен стандартным поиском печатных изданий в академических библиотеках.

Из отобранных исследований были получены следующие сведения: имя автора, год публикации, дизайн исследования, количество изученных зубов, возраст и пол участников, клинический и рентгенологический успех, время, затраченное на формирование апикального барьера.

Использовались ключевые слова по следующим разделам: патология: «apical periodontitis», «immature

permanent teeth»; лечение: «apexification»; препараты: «calcium hydroxide», «МТА», «Biodentine»; исследования: «randomized controlled trial». Результаты поиска были внесены в Zotero (менеджер библиографических данных), дубликаты были удалены. Два независимых исследователя (К.М.А., С.А.М.) осуществили отбор исследований, согласно критериям включения. Любые разногласия обсуждались с остальными исследователями (Д.В.Р., Ш.Ж.А.) с принятием единогласного решения. Стратегия поиска представлена на рисунке 1. Всего в анализ было включено 7 полнотекстовых исследований.

Таблица 1.

PICO вопрос

(Table 1. PICO question).

P (пациент, популяция или проблема)	Некротизированные незрелые постоянные зубы
I (вмешательство, прогностический фактор или экспозиция)	Биоматериалы для апексификации
C (сравнение или вмешательство)	Гидроокись кальция, МТА, Биодентин
O (результат, который вы хотели бы измерить или достичь)	Клинический успех без клинических признаков и симптомов. Рентгенологическое закрытие верхушки корня (оценка длины и толщины корня).

Таблица 2.

Критерии включения и исключения

(Table 2. Inclusion and exclusion criteria).

Критерии включения	Критерии исключения
Проведены клинические испытания на пациентах с несформированными постоянными зубами, которым показана апексификация	Обзорные статьи
Рандомизированные контролируемые испытания, клинические испытания	Исследования in vitro
Сравнение гидроксида кальция с МТА и Биодентином	Исследования на животных, письма, комментарии

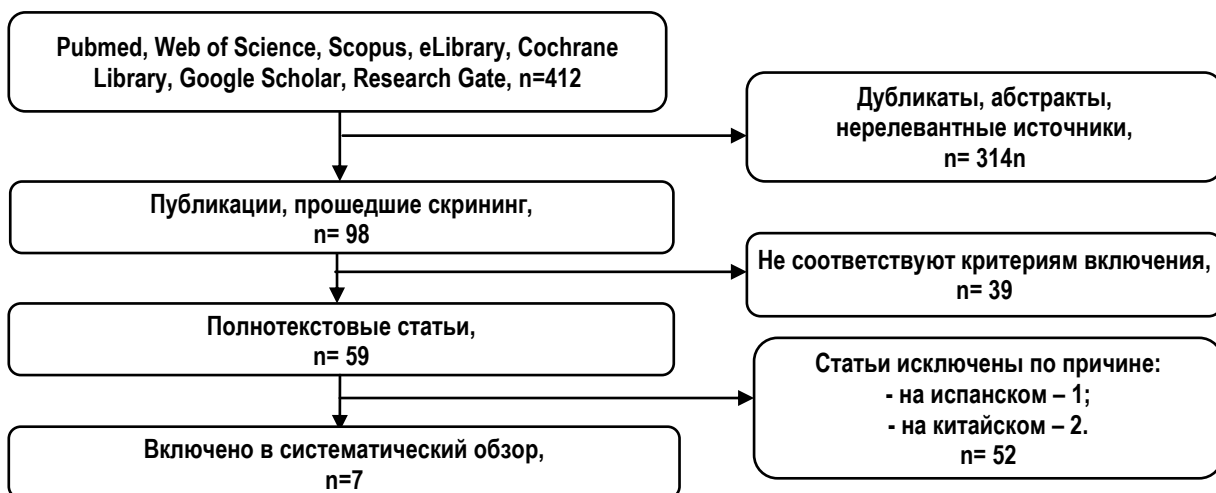


Рисунок 1. Стратегия поиска и отбора источников.

(Picture 1. Source search and selection strategy).

Результаты.

Результаты исследования представлены в таблице 3. Нами было проанализировано 7 научных работ, в которых проводили клиническую и рентгенологическую оценку апексификации открытых верхушек корней некротизированных несформированных постоянных зубов. В исследованиях, выполненных в период с 2012 г. по 2022 г., осуществлялось сравнение гидроксида кальция, МТА и Биодентина, исходя из клинического и

рентгенологического успехов лечения. Под клиническим успехом подразумевалось отсутствие жалоб пациента, закрытие свищевого хода и восстановление функции зуба. Под рентгенологическим успехом – появление кальцифицированного (минерализованного) твёрдотканного апикального барьера, формирование остеодинного мостика и восстановление непрерывности кортикальной пластинки вокруг корней зуба.

Таблица 3.

Исследования, включенные в систематический обзор.

(Table 3. Studies included in the systematic review)

№	Исследование	Тип исследования	Размер выборки	Вмешательство	Возраст (лет)	Клинический успех (%)	Рентгенологический успех	Сроки наблюдений
1	Damle S. et al., 2012 [24]	Клиническое испытание	15 15	МТА ГК	8-12	100 93,33	4,5 ± 1,56 месяца 7,93 ± 2,53 месяца	12 месяцев
2	Bonte E. et al., 2014 [18]	РКИ	16 17	ГК МТА	10,9 10,2	73,3 100	43,8% ГК 64,7% МТА 50,0% ГК 82,4% МТА	6-й месяц 12-й месяц
3	Damle S. et al., 2016 [23]	Клиническое испытание	11 11	МТА ГК	10,0 ± 1,41 10,80 ± 1,32	90,90 81,81	90,90% 81,81%	9 месяцев
4	Muna S.K., 2017 [50]	Клиническое испытание	10 10	МТА БД	Не указан	100 100	100% 100%	12 месяцев
5	Aly M.M. et al., 2019 [10]	РКИ	13 13	БД МТА	8 -15	100 91,66	5,64 (±2,39) % 5,02 (±1,65) %*	12 месяцев
6	Tolibah Y.A. et al., 2022 [76]	РКИ	15 15	МТА БД	8-9	100 100	0% 100%	12 месяцев
7	Singla S., 2022 [68]	РКИ	11 11 11	МТА БД ГК	8–16	100 100 100	100% 100% 40%	9 месяцев

* процент увеличения длины корня

В исследованиях *Damle S. et al.* [24] наблюдали 30 постоянных резцов с некротизированной пульпой и открытыми верхушками корней. Анализировали время, необходимое для формирования апикального барьера. Среднее время формирования апикального барьера в группе с МТА составило $4,50 \pm 1,56$ месяца, тогда как в группе с ГК - $7,93 \pm 2,53$ месяца. Восстановление кортикальной пластинки в группе с МТА завершилось в течение $4,07 \pm 1,49$ месяца, тогда как для группы с ГК составил $6,43 \pm 2,59$ месяца. Авторы приходят к выводу, что МТА позволяет сократить время лечения, биосовместим и обеспечивает герметичный апикальный барьер для немедленной obturации эндопространства корневого канала. При этом была установлена взаимосвязь между адекватностью размещения лекарственного средства и временем, необходимым для формирования барьера. В обеих группах указанная связь имела статистическое значение. В группе I у тринадцати зубов с правильно расположенной пробкой МТА в апикальной части корня образовался кальцифицирующий барьер, в то время как у одного зуба с МТА, не достигшим рентгенологически апекса, барьер сформировался к третьему месяцу исследования. В другом зубе МТА был непреднамеренно выведен за верхушку корня (на 2 мм), вследствие чего кальцифицирующий барьер не сформировался даже через 12 месяцев с момента начала лечения. У детей II группы 14 зубов были адекватно запломбированы ГК, из них у одного зуба появилась внутренняя резорбция корня, а в остальных 13 зубах появился выраженный кальцифицирующий барьер. Формирование барьера наблюдалось в одном зубе с перепломбированным гидроксидом кальция (1,5 мм). Различия в обеих группах оказались статистически значимыми.

Bonte E. et al. [18] провели рандомизированное клиническое исследование у детей от 6 до 18 лет с

некротизированными постоянными резцами с применением ГК (рисунок 2А) и МТА (рисунок 3А).

Рентгенологическую оценку результатов проводили на основании индекса PAI (periapical index). На третий месяц наблюдений в обеих группах исчезли ноющие боли и боли при перкуссии зуба. Пародонтальные симптомы (отек, абсцесс и свищевой ход) купированы у всех пациентов с МТА и у 80 % пациентов с ГК. Через 6 месяцев не было выявлено статистически значимых различий между ГК и МТА в отношении периапикального заживления и апексификации. После создания апикального барьера корневые каналы были obturированы гуттаперчевыми штифтами и силером. Через 12 месяцев все зубы были бессимптомными, за исключением одного - в группе с ГК. Минерализованный твердотканый барьер был обнаружен у 82% пациентов группы с МТА (рисунок 3Б), а с ГК – у 50% (рисунок 2Б). У четырех зубов с ГК произошел перелом корня (рисунок 4).

В более поздних исследованиях *Damle S. et al.* [23] сравнили и оценили апексифицирующий потенциал ГК и МТА в 22 травмированных несформированных постоянных передних зубах в возрасте 10–11 лет. Исследование вновь подтвердило, что МТА демонстрирует лучший клинический результат по сравнению с гидроксидом кальция, при этом МТА показывает 90,9% успеха, а гидроксид кальция – 81,8% успеха.

Tolibah Y.A. et al. [76] сравнивали рентгенологические и клинические результаты применения апикального барьера с Биодентином по сравнению с МТА при лечении 24 несформированных моляров с апикальными поражениями у детей. Толщина накладываемой апикальной пробки из МТА и БД составила 4 мм. Рентгенологические результаты лечения оценивали по шкале периапикального индекса, periapical index (PAI) и по наличию

кальцифицированного апикального барьера (КАБ). Клинический успех оценивали по визуальной аналоговой шкале (VAS). Через 12 месяцев в четырех случаях в группе Биодентин было выявлено образование КАБ (рисунок 5), тогда как КАБ не был обнаружен ни в одном случае с МТА (рисунок 6). Тем не менее, авторы констатируют отсутствие статистически значимых различий между испытываемыми группами на

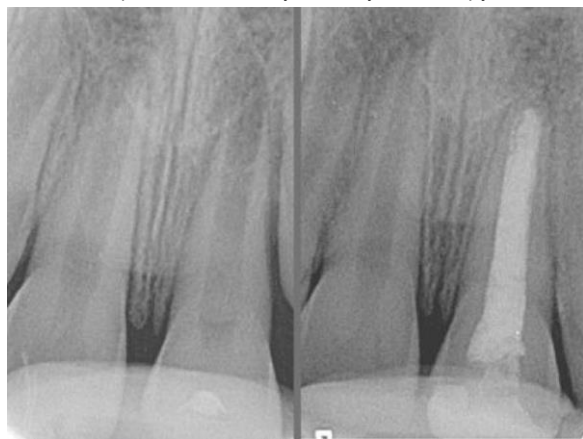


Рисунок 2. Апексификация с гидроокисью кальция.
 А) Предоперационная внутривитовая рентгенограмма зуба 2.1 (PAI=3, стадия Nolla=8).
 Б) Контрольный осмотр через 12 месяцев: определяется образование минерализованного барьера. Корневой канал obturирован разогретой гуттаперчей. Одновременно развивается и формируется зуб 1.1.

12 месяцев наблюдений по показателям индекса PAI, что свидетельствует о рентгенологическом благополучии группы, где апексификация проводилась с использованием МТА. Показатели VAS, оцениваемые в первые сутки после лечения, были более успешны в группе МТА. Биодентин же показал ускорение благоприятного исхода в отдаленные сроки наблюдения.

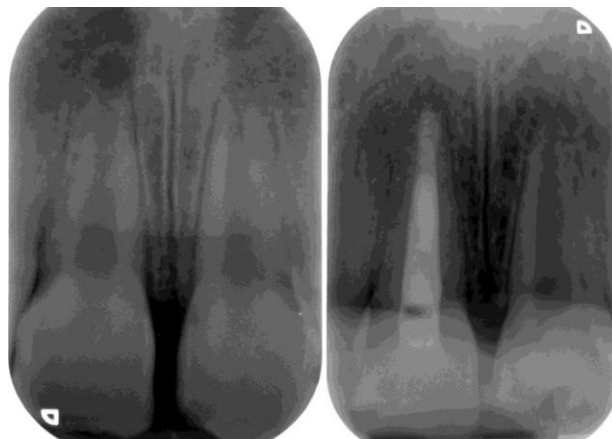


Рисунок 3. Апексификация с помощью МТА.
 А) Предоперационная внутривитовая рентгенограмма зуба 1.1 (PAI = 3; стадия Nolla = 8).
 Б) Контрольный осмотр через 12 месяцев: успешность апексификации, индуцированная апикальной пробкой МТА и оцененная по внутривитовой рентгенограмме (PAI=1). Пломбирование корневого канала было выполнено через 1 неделю после установки апикальной пробки из МТА.

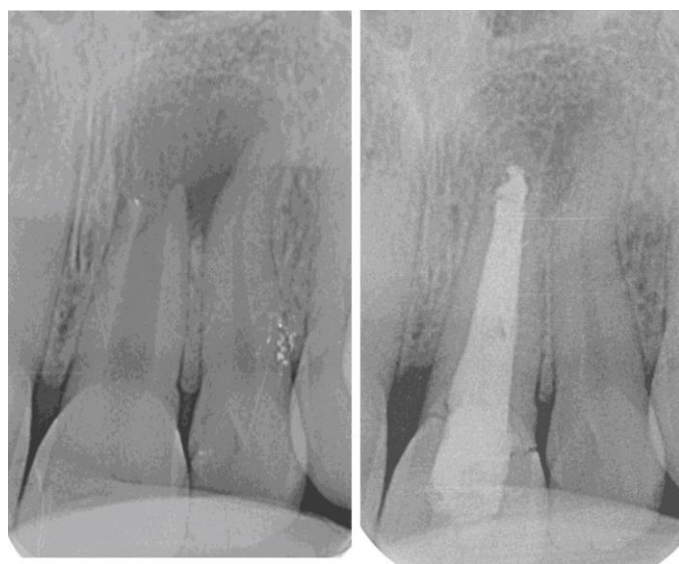


Рисунок 4. Нежелательное явление, вызванное повязками с гидроокисью кальция.
 А) Предоперационная внутривитовая рентгенограмма зуба 2.1 (PAI = 5; стадия Nolla = 8).
 Б) Контрольный осмотр через 12 месяцев: заживление периапикального поражения и успех апексификации за счет формирования апикального барьера. К сожалению, произошел перелом зуба в пришеечной области.

Muna Saleem Khalaf [50] лечила методом апексификации 20 частично сформировавшихся постоянных верхних резцов, подвергшихся травме. Сформированы 2 группы: МТА и БД. Через 3 месяца заживление апикальной патологии в группе МТА наблюдалось у 80%, а в группе БД – у 70% зубов. Полное заживление апикальной деструкции было достигнуто в обеих группах через 12 месяцев. Оценка показала клинический и рентгенологический успех во всех случаях после 12-месячного интервала (100%). Успех заключался в отсутствии боли и симптомов воспаления периодонта, а также в полном восстановлении перирадикулярной области с образованием кальцифицированного барьера. Авторы пришли к выводу, что в отличие от МТА механические свойства БД аналогичны свойствам натурального дентина.

Aly M.M. et al. [10] стремились сравнить клинический и рентгенологический успех, проведя лечение 26 детей с некротизированными несформированными постоянными передними зубами. Апексификацию проводили БД и белым МТА с оцениванием результатов через 12 месяцев.

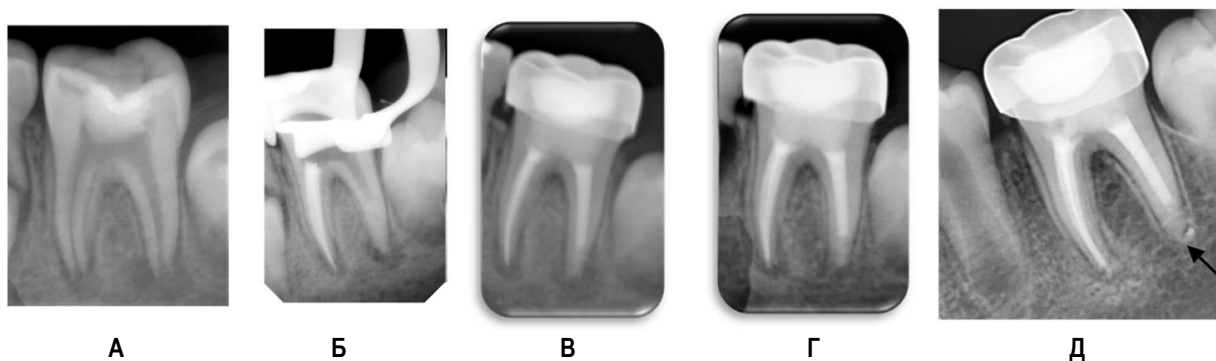


Рисунок 5. Апексификация с использованием Биодентина в качестве апикального барьера:

А) до операции; Б) после установки апикальной пробки; В) послеоперационный период;

Г) наблюдение через 6 месяцев; Д) 12 месяцев наблюдения.

Стрелкой показано формирование апикального барьера.

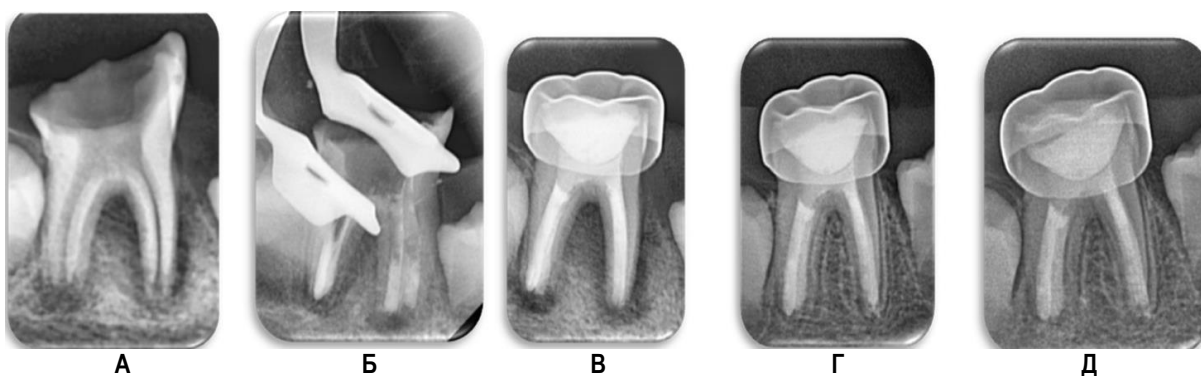


Рисунок 6. Апексификация с использованием МТА в качестве апикального барьера.

А) до операции; Б) после установки апикальной пробки; В) послеоперационный период;

Г) наблюдение через 6 месяцев; Д) 12 месяцев наблюдения.

В группе с БД боль при накусывании, боль при перкуссии, припухлость, свищ, подвижность зуба исчезли у 100% пациентов к концу периода наблюдения. В группе с МТА - только у 91,66% пациентов, где был диагностирован один случай клинической неудачи, который выражался болями при накусывании на зуб и перкуторных болях через 12 месяцев наблюдения. При сравнении общего клинического успеха и процентного увеличения длины корня между двумя группами, статистически значимой разницы не выявлено. Обнаружены значительные различия в распределении изменения цвета (потемнении) твердых тканей зубов между двумя группами. Один случай был зарегистрирован в группе БД (7,69%) и семь случаев были зарегистрированы в группе МТА (58,33 %).

Singla Sumit et al. [68] было отобрано 33 травмированных некротизированных несформированных постоянных зуба у 21 ребенка в возрасте от 8 до 16 лет, которые были рандомизированы на три равные группы ($n=11$). Большинство детей, участвовавших в исследовании, были мальчики. Однако авторы заверяют, что эта разница не была статистически значимой во всех трех испытываемых группах. В двух основных группах в качестве апикального барьера использовали МТА и БД. В контрольной группе применяли традиционный метод апексификации путем введения в просвет корневого канала пасты ГК. Рентгенологическую оценку производили по показателям периапикального индекса

(PAI) и по продолжительности формирования корня. Клинический успех составил 100%. Разрешение очага деструкции заняло минимальное время в группе БД, за которой последовала группа МТА. Удлинение корня наблюдалось у 100% зубов в обеих группах через 6 месяцев по сравнению только с 40% зубов в контрольной группе ГК. Формирование пульпо-дентинного комплекса, имитирующего формирование корня, наблюдалось на более ранних сроках в группах МТА и БД по сравнению с контрольной группой ГК. Через 6 месяцев наблюдений было подтверждено, что разница между контрольной и основной группой МТА ($p = 0,011$) и контрольной группой и основной группой БД ($p = 0,011$) является статистически значимой, а сравнение между группой с МТА и с БД не выявило статистически значимых отличий ($p = 1,00$). Исследователи приходят к заключению, что Бидентин, после которого следует МТА, обладают лучшими свойствами индуцирования перирадикулярного восстановления и формирования кальцифицированного барьера по сравнению с гидроокисью кальция.

Обсуждение результатов.

Целью настоящего литературного обзора явился анализ эффективности гидроокиси кальция, МТА и Биодентина в клиническом и рентгенологическом успехе апексификации некротизированных несформированных постоянных зубов. МТА и БД сравнивали в трех исследованиях [10, 76, 50], МТА и ГК – также в трех работах [18, 23, 24], лишь в одном исследовании анализировали МТА, БД и ГК [68].

Примечательно, что 6 исследователей проводили апексификацию однокорневых передних зубов, и только лишь одно исследование было посвящено многокорневым зубам [76]. Период наблюдений охватывал максимум 12 месяцев и сокращенное количество участников. В исследованиях существовали ряд ограничений, особенно, в связи с неоднородностью используемых методологий. К примеру, во всех работах рентгенологический успех исчислялся в процентных соотношениях, однако в некоторых исследованиях он был представлен в виде доли увеличения длины корня [10] и сроков полного восстановления очага деструкции, выраженного в месяцах [24]. В указанных исследованиях нашли свое подтверждение имеющиеся сведения об изменении цвета эмали зубов под влиянием МТА (7 случаев) и БД (1 случай) [10]. А применение ГК привело к перелому корня зуба (4 случая) [18] и внутренней резорбции корня (1 случай) [24].

Примечательно, что некоторые исследователи отклонялись от общепринятых протоколов антисептической обработки эндопространства корневого канала. Так, у *Damle S. et al.* (2016) вместо раствора гипохлорита натрия в протокол ирригации был включен 0,9% физиологический раствор. Очевидно, что данный факт не оказал какого-либо принципиального влияния на результативность апексификации. Так, боли в одном зубе автор объясняет экструзией МТА примерно на 1 мм, приведшей к раздражению периапикальных тканей. Боли купировались самостоятельно через 6 месяцев [23].

Только в трёх работах для оценки состояния периапикальных тканей и отслеживания процессов регенерации применяли шкалу PAI-index [18, 76, 68]. Известно, что из всех рентгенологических методик контроля изменений в структуре костной ткани, данная шкала считается наиболее подходящей и валидизированной для детской эндодонтии [37]. Тем не менее, оценка PAI-index не всегда идеально оценивает несформированные корни постоянных зубов, поскольку гистологически периапикальная область во время формирования корня отличается от зрелого сформированного зуба наличием бурной клеточной дифференцировки в области гертвиговского эпителиального влагаллица корня и костной реорганизацией зубочелюстной системы в разные возрастные периоды [74]. Незрелые зубы не могут быть точно оценены в 1 или 2 балла только лишь на основании рентгенологических данных.

Описание наличия или отсутствия периапикальных поражений до установки апикального барьера, особенности морфологии корневых каналов, проведение лечения в одно- или многокорневых зубах, продолжительность периода наблюдений, некоторые различия в единицах измерения полученных результатов являются среди других причин неоднородности исследований. Так, группа исследователей *Aly M.M. et al.* степень увеличения длины корня измеряла в миллиметровых единицах, в то время как данные были выражены в процентах, являясь потенциальным источником систематических ошибок [10]. Толщина накладываемой апикальной пробки в единицах измерения отражена лишь в исследовании *Tolibah et al.* [76].

Формирование кальцифицированного барьера также определяли различными способами, что так же делает исследования неоднородными. К примеру, *Bonte E. et al.* определяли наличие твёрдотканного барьера при помощи зондирования апикальной трети канала К-файлом №15 [18], *Damle S. et al.* (2016) с помощью гуттаперчевого штифта [23], в то время как остальные исследователи проводили оценку на основании рентгенологических признаков появления кальцифицированного барьера.

На результаты лечения, вероятно, также повлияли несколько методологических ограничений, в том числе ретроспективный дизайн [50], отсутствие отчетов о согласии между экспертами по качественным (категориальным) пунктам (каппа-показатель, а также валидность и надежность между исследователями и «внутри» одного исследователя). К другим недостаткам относятся следующие: отсутствие информации об опыте и обучении практикующего врача, отсутствие достоверной рандомизации, краткосрочность наблюдений, небольшой размер выборки, недостаток сведений о методах достижения согласованности между стоматологами, проводившими апексификацию [10, 18, 23, 24, 50, 76].

Тем не менее, исходя из полученных результатов, Биодентин является наиболее эффективным с клинической и рентгенологической точек зрения, сокращает количество посещений пациента до одного визита, имеет лучшие эксплуатационные характеристики, отвердевая внутри канала за 12 минут и позволяя одномоментно obturировать корневой канал. МТА обладает менее благоприятными характеристиками, вызывая потемнение эмали зуба. Однако появление модификаций в виде белого МТА нивелировали указанные недостатки. Являясь нерастворимым в просвете канала и обладая отличным герметизирующими свойствами, МТА, однако, имеет длительное время отверждения продолжительностью в 24 часа, при этом кристаллизация материала проходит во влажной среде. Поэтому, следуя инструкции производителя, перед постановкой временной пломбы, поверх апикальной пробки из МТА следует помещать ватный тампон, смоченный в стерильной воде. Obturация корневого канала производится в следующий визит. Следует отметить, что для формирования апикальной пробки из БД и МТА требуется дополнительный инструментарий в виде системы MAP One (Micro Apical Placement, System Produits Dentaires SA) и эндоплаггера Машту (Machtou Plugger, Dentsply Sirona).

Механизмы влияния гидроокиси кальция, МТА и Биодентина продолжают изучаться. На сегодняшний день известно, что Биодентин является материалом с механическими свойствами, схожими с дентином [75]. За счет увеличения размера поверхности частиц, включения катализатора хлорида кальция в жидкую фазу и уменьшения содержания жидкости было достигнуто сокращение времени схватывания БД [43, 45]. Приемлемый объем и количество пор в отвержденном БД меньше, чем у МТА, может быть причиной его лучшей герметизирующей способности, обеспечивая плотное запечатывание эндопространства канала [59, 81].

Материал стал обладать стабильностью, пониженной растворимостью, гидрофильностью, хотя рентгеноконтрастные частицы Биодентина все еще изменяют цвет зуба [4, 10, 54, 61]. Биодентин продемонстрировал большую способность стимулирования кристаллов апатита и высвобождения зубных элементов, чем МТА [29, 56, 70]. Данный процесс достигался путем обеспечения подходящей среды для роста остеобластов и периодонтальной связки. Его несомненным преимуществом стала простота в приготовлении и быстрота отверждения [3, 55, 57].

МТА, в свою очередь, способствует большей дифференцировке остеобластов в соответствии с большей экспрессией остеобластного маркера Integrin Binding Sialoprotein (Интегрин, связывающий сиалопротеин) или IBSP [41, 46]. Предположительно оба материала оказывают схожее влияние на процессы реконструкции костной ткани, которые выражаются рентгенологически схожими показателями [8, 52, 53].

Хотя апексифицирующий потенциал МТА и БД не вызывает сомнений, ГК как «золотой стандарт» лечения хронических периодонтитов, не теряет своей популярности. Эффективность ГК при апексификации объясняется его щелочным рН (рН = 10,5) и антибактериальными свойствами, которые создают благоприятную среду для заживления апикальных поражений, а также для восстановления костных структур периапикальных тканей путем активации фермента щелочной фосфатазы и повышения активности кальций-зависимого фермента пирофосфатазы [47, 64]. Но у препарата есть только ему присущие ограничения, не позволяющие применять ГК для постоянной obturации просвета канала, из них: отсутствие герметичности в obturации системы корневых каналов и значительное снижение механических свойств корневого дентина в связи с длительным контактом с гидроксидом кальция [48, 57]. Для достижения видимых рентгенологических результатов процедуру внесения ГК в эндодонтическое пространство необходимо повторять некоторое количество раз на протяжении от нескольких месяцев до года. Однако нахождение ГК в корневом канале свыше одного месяца может спровоцировать перелом корня зуба, причем с увеличением длительности нахождения препарата устойчивость корневого дентина к разрушению снижается [7, 35]. Тем не менее ГК является бюджетным и достаточно эффективным решением для апексификации, который и по сей день находит широкое распространение как зарубежом, так и в РК [1]. Таким образом, учитывая высокий клинический и рентгенологический успех апексификации, минерал триоксид агрегат, Биодентин и гидроксид кальция можно рассматривать как наиболее оптимальный вариант апексификации несформированных постоянных зубов у детей.

Выводы:

1. Биодентин обладает наибольшей клинической эффективностью благодаря усовершенствованиям, введенным в состав данных типов цемента. МТА является менее успешным, однако авторы единогласны во мнении, что материал благодаря доказанным положительным свойствам, таких как обеспечение

герметичности апикальной зоны и низкая усадка, пользуется большим спросом среди стоматологов. Гидроксид кальция, сочетая в себе свойства создания благоприятной среды для формирования твердых тканей зуба и антимикробную активность, тем не менее имеет ряд серьезных последствий в долгосрочной перспективе.

2. Наблюдения сроком до 12 месяцев показали, что среди трех препаратов Биодентин наряду с МТА показали наилучшее влияние на остеогенез, когда в течение года происходило рентгенологически видимое восстановление очагов деструкции костной ткани. Гидроксид кальция обладала менее выраженным оксифицирующим потенциалом и для устранения очагов деструкции в периапикальной зоне требовался более длительный период наблюдений.

3. Согласно полученным результатам исследований, гидроксид кальция обладает такими недостатками как придание хрупкости твердым тканям зуба, приводящей впоследствии к переломам зуба. МТА же, в свою очередь, вследствие образующегося остаточного гидроксида кальция, во время реакции гидратации также может придавать зубу хрупкость. Однако его количество является незначительным. Из представленных материалов Биодентин является биоактивным эндодонтическим цементом (биокерамикой), в котором были учтены и нивелированы вышеперечисленные недостатки, присущие МТА и гидроксиды кальция.

Заключение.

Таким образом, на стоматологическом рынке для апексификации постоянных зубов с незавершенным формированием апексов корней Биодентин и МТА являются наиболее клинически и рентгенологически эффективными материалами. Гидроксид кальция остается препаратом выбора, хотя и имеет ряд недостатков. Необходимы дальнейшие исследования и наблюдения для оценки состояния зубов и их функции после применения указанных эндодонтических материалов.

Конфликт интересов: авторы декларируют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов:

Курманалина М.А. – разработка концепции и дизайна исследования, обзор литературы, написание 1 варианта статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Суманова А.М. – разработка концепции и дизайна исследования, редактирование статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Деточкина В.Р. – обзор литературы, редактирование статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Шабанбаева Ж.А. – обзор литературы, написание 1 варианта статьи, редактирование статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Данный материал не был заявлен ранее, для публикации в других изданиях и не находится на рассмотрении другими издательствами.

Финансирование: Сторонними организациями финансирования не осуществлялось.

Литература.

1. Абдыбекова А.К., Алдашева М.А. Современные средства для временной obturации корневых каналов

(обзор литературы) // Вестник Казахского Национального медицинского университета. 2020. №2. С. 193-198.

2. Уткина Е.И. и др. Гистологические преимущества биосиликатных цементах как материалов для витальной терапии пульпы // West Kazakhstan Medical Journal. 2022. №. 3 (64). С. 147-150.

3. Abbas A. et al. Efficacy of mineral trioxide aggregate and Biodentine as apical barriers in immature permanent teeth: a microbiological study // International Journal of Clinical Pediatric Dentistry. 2020. Т.13. №.6. С. 656-662.

4. Adl A., Javanmardi S., Abbaszadegan A. Assessment of tooth discoloration induced by Biodentine and white mineral trioxide aggregate in the presence of blood // Journal of Conservative Dentistry: JCD. 2019. Т. 22. №.2. С. 164-168.

5. Aeran H., Sharma M., Tuli A. Biodentine: Material of choice for apexification // International Journal of Oral Health Dentistry. 2021. Т. 7. №.1. С. 54-56.

6. Alazrag M.A. et al. Marginal adaptation, solubility and biocompatibility of TheraCal LC compared with MTA-angelus and Biodentine as a furcation perforation repair material // BMC Oral Health. 2020. Т.20. №.1. С. 298-309.

7. Al-Hiyasat A.S., El-Farraj H.S., Alebrahim M.A. The effect of calcium hydroxide on dentine composition and root fracture resistance of human teeth: An in vitro study // European Journal of Oral Sciences. 2021. Т.129. №.4. С. 98-107.

8. Al-Nazhan S. et al. Outcomes of furcal perforation management using Mineral Trioxide Aggregate and Biodentine: a systematic review // Journal of Applied Oral Science. 2022. Т. 30. С.30-38.

9. Alqahtani A.R. et al. Efficacy of calcium hydroxide and resin-modified calcium silicate as pulp-capping materials: A retrospective study // Gen. Dent. 2020. Т. 68. С. 50-54.

10. Aly M.M. et al. Clinical and radiographic evaluation of Biodentine and Mineral Trioxide Aggregate in revascularization of non-vital immature permanent anterior teeth (randomized clinical study) // International journal of paediatric dentistry. 2019. Т. 29. №. 4. С. 464-473.

11. Annamalai S. et al. Apexification and repair of root fracture with mineral trioxide aggregate—A case report with 5-year follow-up // Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences. 2021. Т. 13. №. Suppl 1. С. S881-S885.

12. Arican B., Sesen Uslu Y., Sarialioğlu Güngör A. Resistance to fracture of simulated external cervical resorption cavities repaired with different materials // Australian Endodontic Journal. 2023. Т.49. №.1. С.174-182.

13. Ballikaya E., Güngör H.: The Use of Mineral Trioxide Aggregate in The Treatment of Horizontal Root Fractures: A Case Presentation and Literature Update // Selcuk Dental Journal. 2021. Т. 8. №. 3. С. 850-858.

14. Bansal R. et al. Evaluation of marginal adaptation of MTA, Biodentine, and MTA plus as root-end filling materials—an SEM study // Dental Journal of Advance Studies. 2019. Т. 7. №. 01. С. 006-011.

15. Baranwal H. C. et al. New Approach in the Management of Vertical Root Fracture with the Help of Biodentine and CBCT // Case Reports in Dentistry. 2020. – Т. 10. С.95-100.

16. Benetti F. et al. Cytotoxicity and biocompatibility of a new bioceramic endodontic sealer containing calcium hydroxide // Brazilian oral research. 2019. Т. 33. С.42-49.

17. Bhavana V. et al. Evaluation of antibacterial and antifungal activity of new calcium-based cement (Biodentine) compared to MTA and glass ionomer cement // Journal of conservative dentistry: JCD. 2015. Т.18. №.1. С. 44-46.

18. Bonte E. et al. MTA versus Ca (OH) 2 in apexification of non-vital immature permanent teeth: a randomized clinical trial comparison // Clinical oral investigation. 2015. Т.19. С. 1381-1388.

19. Cervino G. et al. Mineral trioxide aggregate applications in endodontics: A review // European journal of dentistry. 2020. Т.14. №.04. С. 683-691.

20. Corbella S. et al. Apexification, apexogenesis and regenerative endodontic procedures: a review of the literature // Minerva stomatologica. 2014. Т. 63. №.11-12. С. 375-389.

21. Cosme-Silva L. et al. Hypertension affects the biocompatibility and biomineralization of MTA, High-plasticity MTA, and Biodentine® // Brazilian oral research. 2019. Т. 33. С.60-70.

22. da Fonseca T.S. et al. Biodentine and MTA modulate immunoinflammatory response favoring bone formation in sealing of furcation perforations in rat molars // Clinical Oral Investigations. 2019. Т. 23. С. 1237-1252.

23. Damle S.G. et al. Clinical and radiographic assessment of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide as apexification agents in traumatized young permanent anterior teeth: A comparative study // Dental research journal. 2016. Т. 13. №.3. С. 284-291.

24. Damle S., Bhattal H., Loomba A. Apexification of anterior teeth: a comparative evaluation of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide paste // Journal of Clinical Pediatric Dentistry. 2012. Т. 36. №.3. С. 263-268.

25. Darak P. et al. Comparative evaluation of fracture resistance of simulated immature teeth and its effect on single visit apexification versus complete obturation using MTA and Biodentine // Journal of Family Medicine and Primary Care. 2020. Т. 9. №. 4. С. 2011-2015.

26. Dong X., Xu X. Bioceramics in Endodontics: Updates and Future Perspectives // Bioengineering. 2023. Т. 10. №. 3. С. 354-384.

27. Duman C. et al. Comparison of Three Different Biomaterials Used In In Vitro Molar Apexification Models. – 2022. С.434-442.

28. El-Mal E.O.A., et al. A comparative study of the physicochemical properties of hesperidin, MTA-Angelus and calcium hydroxide as pulp capping materials // The Saudi Dental Journal. 2019. Т. 31. №. 2. С. 219-227.

29. Eraković M. et al. Anti-inflammatory and immunomodulatory effects of Biodentine on human periapical lesion cells in culture // International endodontic journal. 2020. Т. 53. №. 10. С. 1398-1412.

30. Eram A. et al. Finite element analysis of immature teeth filled with MTA, Biodentine and Bioaggregate // Computer methods and programs in biomedicine. – 2020. Т. 190. – С.56-62.

31. Flanagan T.A. What can cause the pulps of immature, permanent teeth with open apices to become necrotic and what

treatment options are available for these teeth // Australian Endodontic Journal. 2014. T.40. №3. C.95-100.

32. Galal M. *et al.* Solubility, pH change, and calcium ion release of low solubility endodontic mineral trioxide aggregate // Bulletin of the National Research Centre. – 2020. T. 44. №.1. C. 42-47.

33. Gandolfi M. G. *et al.* Calcium silicate and calcium hydroxide materials for pulp capping: biointeractivity, porosity, solubility and bioactivity of current formulations // Journal of applied biomaterials & functional materials. 2015. T. 13. №.1. C. 43-60.

34. Guerrero F. *et al.* Apexification: A systematic review // Journal of conservative dentistry: JCD. 2018. T. 21. №.5. C. 462-465.

35. Hoffmann J.B. *et al.* Effect of different periods of calcium hydroxide dressing on the fracture resistance of root dentin // General dentistry. 2021. T. 69. №. 5. C. 67-71.

36. Ince Yusufoglu S. *et al.* Evaluation of different Apexification treatments of teeth with immature apices and apical periodontitis on the fractal dimensions of trabecular bone // Australian Endodontic Journal. 2021. T.47. №.2. C. 163-169.

37. Jordal K., Valen A., Orstavik D. Periapical status of root-filled teeth in Norwegian children and adolescents // Acta Odontologica Scandinavica. 2014. T.72. №.8. C. 801-805.

38. Joshi K. *et al.* Comprehensive Assessment Of Intracoronary Stains Induced Via Triple Antibiotic Paste, Mineral Trioxide Aggregate And Calcium Hydroxide Powder Combined With Aquatic Solution Of Chlorhexidine–An In Vitro Study // Journal of Pharmaceutical Negative Results. 2022. C. 1871-1876.

39. Kandemir Demirci G. *et al.* Treatment of immature teeth with nonvital pulps in adults: a prospective comparative clinical study comparing MTA with Ca (OH) 2 // International Endodontic Journal. 2020. T. 53. №.1. C. 5-18.

40. Kim S.Y., Lee S.M., Lee J.H. Initial cytotoxicity of mineral trioxide aggregate (MTA) during setting on human mesenchymal stem cells // Advances in Materials Science and Engineering. 2019. T. 2019. C. 104-111.

41. Kostyuk I. *et al.* Experimental study the anti-inflammatory and osteo-regenerative qualities of the paste based on symphytum officinale tincture and calcium hydroxide // Pharmacia. 2021. T. 68. №.3. C. 585-590.

42. Li C. *et al.* Apexification management of mandibular second premolar with a blunderbuss apex and periapical lesion of an adult patient // Case reports in dentistry. 2019. – T. 2019. C.42-46.

43. Martens L., Cauwels R. Biodentine™ Applications in Traumatology and Fractures // Biodentine™: Properties and Clinical Applications. 2022. C. 103-120.

44. Mathew A.I. *et al.* Comparative Evaluation of Mineral Trioxide Aggregate Obturation Using Four Different Techniques - A Laboratory Study // Materials. 2021. T. 14. – №. 11. C. 126-137.

45. Mente J. *et al.* Treatment outcome of mineral trioxide aggregate in open apex teeth // Journal of endodontics. 2013. T. 39. №.1. C. 20-26.

46. Miller A.A. *et al.* Effect of 3 bioceramic materials on stem cells of the apical papilla proliferation and differentiation using a dentin disk model // Journal of endodontics. 2018. T. 44. №. 4. C. 599-603.

47. Mondelli J.A.S. *et al.* Biocompatibility of mineral trioxide aggregate flow and Biodentine // International endodontic journal. 2019. T. 52. №. 2. C. 193-200.

48. Mousavi S. A. *et al.* Comparison of sealing ability of ProRoot mineral trioxide aggregate, Biodentine, and ortho mineral trioxide aggregate for canal obturation by the fluid infiltration technique // Dental research journal. 2018. T. 15. №. 5. C. 307-312.

49. Muhamad A.H. *et al.* Management of open apex in permanent teeth with calcium hydroxide paste // Int J Dent Health Sci. 2016. T. 44. №.8. C. 697-730.

50. Muna Saleem Khalaf Apexification of Traumatically Injured Teeth: A Comparison between Biodentine and Mineral Trioxide Aggregate // Int. J. Sci. Res. (IJSR) - 2017. № 6. C. 1181–1184.

51. Mustafa M. *et al.* Evaluation of Fractured Resistance Using MTA & Biodentine in Apexification v/s Obturation in Simulated Immature Teeth-An In-Vitro Study. – 2019.C.493-497.

52. Mutluay M., Mutluay A.T. Sealing efficiency of MTA, accelerated MTA, Biodentine and RMGIC as retrograde filling materials // Balkan Journal of Dental Medicine. 2021. T. 25. №.3. C.159-165.

53. Nik-Azis N.M., *et al.* Iatrogenic Extrusion of Calcium Silicate Cements on Teeth Associated with Large Periapical Lesion: A Case Report with 12-Month Follow-up // Journal of Dentistry Indonesia. 2022. T. 29. №. 2. C. 154-159.

54. Nikhil V., Jha P., Suri N.K. Effect of methods of evaluation on sealing ability of mineral trioxide aggregate apical plug // Journal of conservative dentistry: JCD. 2016. T. 19. №. 3. C. 231-243.

55. Pace R. *et al.* Mineral trioxide aggregate as apical plug in teeth with necrotic pulp and immature apices: a 10-year case series // Journal of endodontics. 2014. T.40. №.8. – C. 1250-1254.

56. Pham C. L. *et al.* Effect of Overlying Material on Final Setting of Biodentine® in Primary Molar Pulpotomies // Pediatric Dentistry. 2019. T. 41. №.2. C. 140-145.

57. Pius A. *et al.* Evaluation and comparison of the marginal adaptation of an epoxy, calcium hydroxide-based, and bioceramic-based root canal sealer to root dentin by SEM analysis: An in vitro study // Cons Dent Endod J. 2019. T. 4. C. 6-13.

58. Reddy S. *et al.* 100 years of Calcium Hydroxide in Dentistry: A review of literature // Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology. 2020. T. 14. №. 4. C. 1203-1219.

59. Sahu S. *et al.* In vitro evaluation of apical leakage of three bioceramic materials using glucose leakage model in a simulated open apex // SRM Journal of Research in Dental Sciences. 2023. T. 14. №.1. C. 11-16.

60. Scelza M.Z. *et al.* Biodentine™ is cytocompatible with human primary osteoblasts // Brazilian Oral Research. 2017. T. 31. C.81-88.

61. Seirawan M. Y. *et al.* Coronal discoloration related to bioceramic and mineral trioxide aggregate coronal barrier in non-vital mature teeth undergoing regenerative endodontic procedures // Dent. 2020. T. 11. C. 52-60.

62. Shaik I. *et al.* Comparison of the success rate of mineral trioxide aggregate, endosequence bioceramic root repair material, and calcium hydroxide for apexification of immature permanent teeth: Systematic review and meta-

analysis // Journal of pharmacy & bioallied sciences. 2021. – Т. 13. №. Suppl 1. С. S43-S47.

63. *Shalini Maria S.* Comparison of the Potential Discolouration effect of MTA Angelus, Endocem MTA and Neo MTA on natural teeth: An in vitro study : дис. – Ragas Dental College and Hospital, Chennai, 2020. 137 с.

64. *Sharma A., Sharma L., et al.* Molecular signaling pathways and essential metabolic elements in bone remodeling: An implication of therapeutic targets for bone diseases // *Current Drug Targets*. 2021. Т.22. №.1. С.77-104.

65. *Sherwood A.I. et al.* Biodentine: A unique bio-active endodontic material with versatile uses // *J Dental Health Oral Res*. 2020. Т. 1. №. 2. С. 206-221.

66. *Shokouhinejad N. et al.* Effect of irrigation solutions on the coronal discoloration induced by mineral trioxide aggregate cements containing different radiopacifiers // *Dental Research Journal*. 2020. Т.17. №.6. С.447-451.

67. *Silva W. O., Gonçalves H. R., Rodrigues R. C. V.* Use of Calcium Hydroxide Between Visits in Endodontic Treatment // *Seven Editora*. 2023. С. 1266-1285.

68. *Singla S. et al.* Comparative Efficacy of Bioceramics Apexification in Periradicular Healing and Root-end Calcific Tissue Repair in Immature Traumatized Permanent Anterior Teeth // *World Journal of Dentistry*. 2022. Т.13. №.S2. S194-S202.

69. *Sneha D. et al.* Management of a complicated horizontal root fracture in a 12-year-old child using mineral trioxide aggregate: A case report. 2022.Т.8 (2). С.104-107.

70. *Spagnuolo G.* Bioactive dental materials: the current status // *Materials*. 2022. Т. 15. №.6. С. 2016. С.16-19.

71. *Staffoli S. et al.* Regenerative endodontic procedures using contemporary endodontic materials // *Materials*. 2019. Т. 12. №. 6. С. 908-936.

72. *Talabani R.M., Ali A.J., Abdulkareem B.N.* Clinical and radiographic evaluation of pulpal and periradicular tissue // *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2016. Т. 7. №. 12. С. 5072-5076.

73. *Talabani R.M., Garib B.T., Masaali R.* Bioactivity and physicochemical properties of three calcium silicate-based cements: An in vitro study // *BioMed Research International*. 2020. Т. 2020. С.30-40.

74. *Tang H. et al.* 3D-bioprinted recombination structure of Hertwig's epithelial root sheath cells and dental papilla cells for alveolar bone regeneration // *International Journal of Bioprinting*. 2022. Т.8. №.3. С. 140-150.

75. *Teja K.V. et al.* Management of external root resorption with Biodentine and platelet-rich fibrin matrix: A case report with 3 year follow up // *Saudi Endodontic Journal*. 2021. Т. 11. №. 3. С. 405-411.

76. *Tolibah Y.A. et al.* Comparison of MTA versus Biodentine in apexification procedure for nonvital immature first permanent molars: a randomized clinical trial // *Children*. 2022. Т. 9. №. 3. С. 410. С.410-420.

77. *Torabinejad M. et al.* Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview–part II: other clinical applications and complications // *International endodontic journal*. 2018. Т.51. №.3. С.284-317.

78. *Vanelli M.I. et al.* Bone metabolism in periapical lesions: literature review // *Journal of Research in Dentistry*. 2022. Т.10. №. 3. С.10-17.

79. *Villa D.M. et al.* Use of Biodentine as an alternative treatment in horizontal radicular fractures: clinical case report // *Universidad y Sociedad*. 2021. Т.13. S2. С.282-288.

80. *Wikström A. et al.* What is the best long-term treatment modality for immature permanent teeth with pulp necrosis and apical periodontitis? // *European Archives of Paediatric Dentistry*. 2021. Т. 22. С. 311-340.

81. *Xiao W. et al.* Modified pulpotomy procedure in immature permanent teeth with apical periodontitis: a randomised controlled trial // *BMJ open*. 2022. Т.12. №. 12. – С. 714-722.

82. *Yasin R., Al-Jundi S., Khader Y.* Effect of mineral trioxide aggregate and Biodentine™ on fracture resistance of immature teeth dentine over time: in vitro study // *European Archives of Paediatric Dentistry*. 2021. С. 603-609.

83. *Yassen G.H. et al.* The effect of medicaments used in endodontic regeneration on root fracture and microhardness of radicular dentine // *International endodontic journal*. 2013. Т. 46. №.7. С. 688-695.

84. *Yuan-lin Z.U.O., Chao-hui L.I.* Study on clinical efficacy and patients' satisfaction of MTA apical barrier technique in treatment of young permanent teeth with periapical inflammation // *Shanghai Journal of Stomatology*. 2017. Т. 26. №. 3. С. 297-301.

85. *Zafar K., Jamal S., Ghafoor R.* Bio-active cements- Mineral Trioxide Aggregate based calcium silicate materials: a narrative review // *JPMA. The Journal of the Pakistan Medical Association*. 2020. Т. 70. №. 3. С. 497-504.

86. *Žižka R. et al.* Assessment of Mineral Trioxide Aggregate Setting in Simulated Root Canal with Different Root Canal Wall Thickness: In Vitro Study // *Applied Sciences*. 2021. Т. 11. №. 4. С. 1727-1742.

References: [1-2]

1. *Abdybekova A.K., Aldasheva M.A.* Sovremennyye sredstva dlya vremennoi obturatsii kornevykh kanalov (obzor literatury) [State-of-the-art medications for temporary root canals obturation (literature review)]. *Vestnik Kazakhskogo Natsional'nogo meditsinskogo universiteta [Vestnik KazNMU]*. 2020. №.2. pp. 193-198. [in Russian]

2. *Utkina E.I. i dr.* Gistologicheskie preimushhestva biosilikatnykh cementov kak materialov dlja vital'noj terapii pul'py [Histological advantages of biosilicate cements as materials for vital pulp therapy]. *West Kazakhstan Medical Journal*. 2022. №. 3 (64). pp. 147-150. [in Russian].

Контактная информация:

Курманалина Мадина Акдаuletовна - PhD, доцент кафедры хирургической и детской стоматологии НАО «Западно-Казахстанский медицинский университет имени Марата Оспанова», г. Актобе, Республика Казахстан.

Почтовый адрес: Республика Казахстан, г. Актобе. ул. Братьев Жубановых 253/4.

E-mail: Kma9999@bk.ru,

Телефон: +7-701 556 69 22