

Biodentine™ или MTA ProRoot™: сравнительный анализ применения в эндодонтической практике

Хабадзе З.С.¹, к.м.н., доцент

Зорян А.В.¹, к.м.н., доцент

Магай В.Е.³, студент

Илюшина А.И.², к.м.н., врач-стоматолог-терапевт

Магомедов О.И.², врач-стоматолог

Какабадзе Н.М.³, студент

Абазян М.Д.³, студент

¹Кафедра терапевтической стоматологии

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

Российский университет дружбы народов (РУДН), Медицинский институт

²Частная стоматологическая практика, Москва

³Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

Российский университет дружбы народов (РУДН), Медицинский институт

Резюме

Актуальность. Использование материалов на основе силиката кальция в стоматологии стало популярным с появлением минерального триоксидного агрегата (МТА) в 1993 году в качестве корневого наполнителя. Однако на рынке стоматологических услуг постоянно появляются новые материалы, которые удобны в применении, а также обладают лучшими свойствами, чем предшественники. Недавно был представлен Biodentine™ как «первый универсальный, биологически активный и биосовместимый материал для замены поврежденного дентина». Производители утверждают, что Biodentine™ имеет значительно более короткое время схватывания в отличие от других силикатных цементов, таких как МТА, а также обладает лучшими механическими и эксплуатационными свойствами. Этот обзор литературы направлен на сравнительную оценку физико-химических, биологических свойств ProRoot™ МТА и Biodentine™.

Ключевые слова: Biodentine, МТА ProRoot, микроструктура, микротвердость, цитотоксичность, антибактериальная активность, растворимость, изменение цвета зубов.

Для цитирования: Хабадзе З.С., Зорян А.В., Магай В.Е., Илюшина А.И., Магомедов О.И., Какабадзе Н.М., Абазян М.Д. Biodentine™ или МТА ProRoot™: сравнительный анализ применения в эндодонтической практике. Эндодонтия today. 2019; 17(3):47-54. DOI: 10.36377/1683-2981-2019-17-3-47-54.

Основные положения:

1. Цементы на основе силиката кальция, такие как МТА ProRoot™ способны к окрашиванию твердых тканей и ограничивают свое применение в эстетически значимых зонах.

2. Клиническое использование биокерамики увеличилось за последние годы из-за их широкого спектра применения в эндодонтии.

Biodentine™ or MTA ProRoot™: the comparative analysis of application in endodontics

Z.S. Khabadze¹, PhD, associate professor

A.V. Zoryan¹, PhD, associate professor

V.E. Magay¹, Student

A.I. Ilyushina², PhD, Dentist, Therapist

O.I. Magomedov², Dentist

N.M. Kakabadze³, Student

M.D. Abazyan³, Student

¹Department of Therapeutic Dentistry

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Medical Institute

²Private dental practice, Moscow

³Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Medical Institute

Abstract

Relevance. Use of materials based on the calcium silicate (CSM) in dentistry became popular with the advent of the Mineral trioxide aggregate (MTA) in 1993 as root filler. However in the market of dental services constantly new materials appear which are convenient in use, and also have the best properties, than predecessors. Recently Biodentine™ was provided as "the first universal, biologically active and biocompatible material for replacement of the damaged dentine". Producers claim that Biodentine™ has much shorter time of a curing unlike other silicate cements, such as (MTA) and also has the best mechanical and operational properties. This review of the literature is directed to comparative assessment of physical and chemical, biological ProRoot MTA™ and Biodentine™ properties.

Key words: Biodentine, MTA ProRoot, microstructure, microhardness, cytotoxicity, antibacterial activity, solubility, discoloration of teeth.

For citation: Z.S. Khabadze, A.V. Zoryan, V.E. Magay, A.I. Ilyushina, O.I. Magomedov, N.M. Kakabadze, M.D. Abazyan. Biodentine™ or MTA ProRoot™: the comparative analysis of application in endodontics. *Endodontics today*. 2019;17(3):47-54. DOI: 10.36377/1683-2981-2019-17-3-47-54.

Highlights:

1. Calcium silicate cements such as MTA ProRoot™ are capable of staining hard tissues and limit their use in aesthetically significant areas.
2. The clinical use of bioceramics has increased in recent years due to their wide range of applications in endodontics.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Каждый практикующий стоматолог в течение своей практики сталкивается с непростыми клиническими случаями: перфорация полости зуба [1], необходимостью пломбирования верхушечной части канала, нередко – ретроградным методом [2, 3]. В основе успешного лечения и решения указанных задач лежит проблема выбора материала, который мог бы соответствовать всем требованиям, предъявляемым современной стоматологией.

MTA (Mineral trioxide aggregate) ProRoot™ представлен эндодонтической индустрией в начале 1990-х годов как материал для закрытия перфорации, прямого покрытия пульпы и для пломбирования верхушечной части канала [4]. ProRoot MTA содержит силикат трикальция, оксид висмута, силикат дикальция, алюминат трикальция и дигидрат сульфата кальция [8]. Благодаря своим превосходным качествам, таким как высокая биосовместимость к тканям зуба [5], герметизирующая способность [6], антибактериальные свойства [4], материал быстро нашел широкое применение. Помимо вышеперечисленных показаний MTA используется в целях стимулирования реваскуляризации пульпы [10] и проведения апексификации в одно посещение [7]. Однако у MTA ProRoot™ отмечены и недостатки, которые отрицательно влияют на качество работы специалиста-стоматолога, а именно: длительное время схватывания [8], тенденция к изменению окраски зуба [12] и трудности в обращении [13]. Учитывая эти недостатки, на рынке был представлен в 2010 году [14] и, как оказалось, показал хорошие клинические и экспериментальные результаты Biodentine™ (Septodont, Сен-Мор-де-Фоссе, Франция).

Biodentine (BD) – цемент на основе силиката кальция [15, 16] с дентиноподобными механическими свойствами, был предложен для замещения коронарного и корневого дентина подобно MTA [17]. BD содержит трикальций силикат, дикальций силикат, карбонат кальция, оксид циркония, оксид железа и хлорид кальция в качестве ускорителя [18]. BD сочетает в себе высокие механические свойства с превосходной биосовместимостью и коротким временем схватывания 12 минут [14].

Целью данного обзора литературы является сравнение эффективности применения двух цементов на

основе силиката кальция: MTA ProRoot™ и Biodentine™ в стоматологической практике.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для написания данной описательной статьи был проведен поиск в электронных базах данных PubMed и Google scholar и в списках литературы, которые указаны в найденных исследованиях и статьях.

Были включены публикации, соответствующие следующим критериям отбора:

1. Полнотекстовые статьи с 1995-го по 2019 год.
2. Сравнительная оценка физико-химических показателей, биологической активности, растворимости в биологической жидкости, реакция пульпы при прямом покрытии Biodentine и MTA ProRoot.
3. Достоинства и недостатки современных силикатсодержащих цементов, применяемые в стоматологии.

Исследования были отфильтрованы и выбраны в несколько этапов. Во-первых, удалены статьи, опубликованные до 2003 года. Во-вторых, публикации были оценены по названию. В-третьих, все публикации оценивались путем ознакомления с полнотекстовыми и тезисными статьями. На каждом этапе исследователи работали независимо.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Всего было идентифицировано 83 статьи. После их отбора по критериям включения и удаления повторяющихся статей, итоговое количество стало 9. Статьи включали лабораторные исследования относительно микроструктуры, микротвердости, цитотоксичности, антибактериальной активности, растворимости, изменение цвета зубов, а также особенностям клинического применения.

ОБСУЖДЕНИЕ

Химический состав BD: выпускается в форме капсулы, содержащей идеальное соотношение порошка и жидкости, в то время как жидкость содержит хлорид кальция, который действует как катализатор, а водорастворимый полимер выполняет функцию восстановителя воды (таблица 1). Тем не менее, точная концентрация его компонентов не была предоставлена производителем, различные исследователи изучили то же самое и предоставили данные. Одно из таких исследований, выполненных Camilleri J. et al., выявило концентрацию компонентов биодентина [59].

Химический состав MTA: MTA представляет собой механическую смесь трех порошковых ингреди-

Таблица 1. Состав Biodentine™
Table 1. Biodentine™ composition

Порошок	%
Трикальциевый силикат (3CaO · SiO ₂) (основной материал сердечника)	80,1
Дикальциевый силикат (2CaO · SiO ₂) (второй материал сердечника)	–
Карбонат кальция (CaCO ₂) (наполнитель)	14,9
Оксид циркония (ZrO ₂) (радиоактиватор)	5
Оксид железа (краситель)	–

Таблица 2. Состав MTA ProRoot™
Table 2. MTA ProRoot™ composition

Состав	%
Трикальций силикат	66,1
Дикальций силикат	8,4
Трикальций алюминат	–
Тетракальциумалюмоферрит	–
Сульфат кальция	14
Оксид висмута	0,5
Оксид кальция	1,0

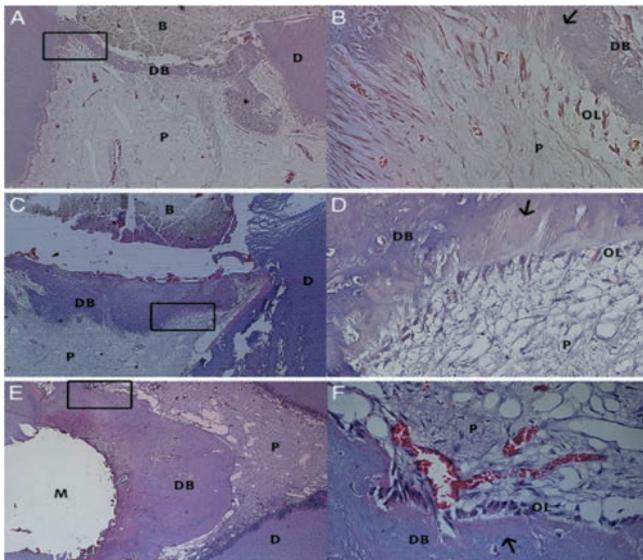


Рис. 1 [58]. Пульпа, покрытая BD (A, B, C и D) и MTA (E и F). (A и C) Полноценное образование дентинового мостика с BD (гематоксилин-эозин; оригинальное увеличение, 50) (B и D). Более высокое увеличение (A и C). Стрелкой указан новый слой одонтобластных клеток и дентинные каналцы (гематоксилин-эозин; оригинальное увеличение, 400). (E) Полное формирование дентинового мостика с помощью MTA. (F) Более высокое увеличение (E). Стрелкой указан новый слой одонтобластных клеток и дентинные каналцы (гематоксилин-эозин; оригинальное увеличение, 400)

Fig. 1 [58]. Human pulp capped with Biodentine (A, B, C, and D) and MTA (E and F). (A and C) The complete dentin bridge formation with

Biodentine. Dentin bridge incorporating dentin chips (*), (hematoxylin-eosin; original magnification, X50). (B and D) Higher magnification of (A and C). Observe hard bridge tissue, new odontoblast cell layer, and dentinal tubules (arrow) (hematoxylin-eosin; original magnification, X400). (E) The complete dentin bridge formation with MTA. (F) Higher magnification of (E). Observe hard bridge tissue, new odontoblast cell layer, and dentinal tubules (arrow) (hematoxylin-eosin; original magnification, X400).

B □ Biodentine; D □ dentin; DB □ dentin bridge; M □ MTA; OL □ odontoblast layer; P □ pulp; B □ biodentine; D □ dentine; DB □ the dentine bridge; M □ MTA; PR □ odontoblast layer; P □ pulp

ентов: портландцемента (75%), оксида висмута (20%) и гипса (5%) [11]. Согласно патенту MTA, он состоит из оксида кальция (50-75 мас.%) и оксида кремния (15-20 мас.%), которые вместе составляют 70-95% цемента. После смешивания данных составляющих образуется трикальциевый силикат, дикальциевый силикат, трикальцийалюминат, тетракальциевый алюмоферрит [12]. Существует два коммерческих типа MTA: серый и белый, и разница заключается в наличии железа в первом, которое дополнительно образует тетракальциумалюмоферритовую фазу. Напротив, в белом MTA отсутствует оксид железа, а следовательно, и фаза (таблица 2) [13].

Отсутствие растворимости является желательной характеристикой для цементов при восстановлении корней [19], поскольку эндодонтические и реставрационные материалы должны обеспечивать долговременную герметизацию и избежать микроподтекания из полости рта и/или периапикальной ткани. Следовательно, требуется низкая растворимость

Было обнаружено, что оба материала удовлетворяют требованиям ISO 6876: 2001, растворимость составляет <3% через 24 часа. Однако был значительно более растворимым, чем ProRoot MTA во все периоды

времени. Авторы характеризуют MTA ProRoot как практически нерастворимый [19-21].

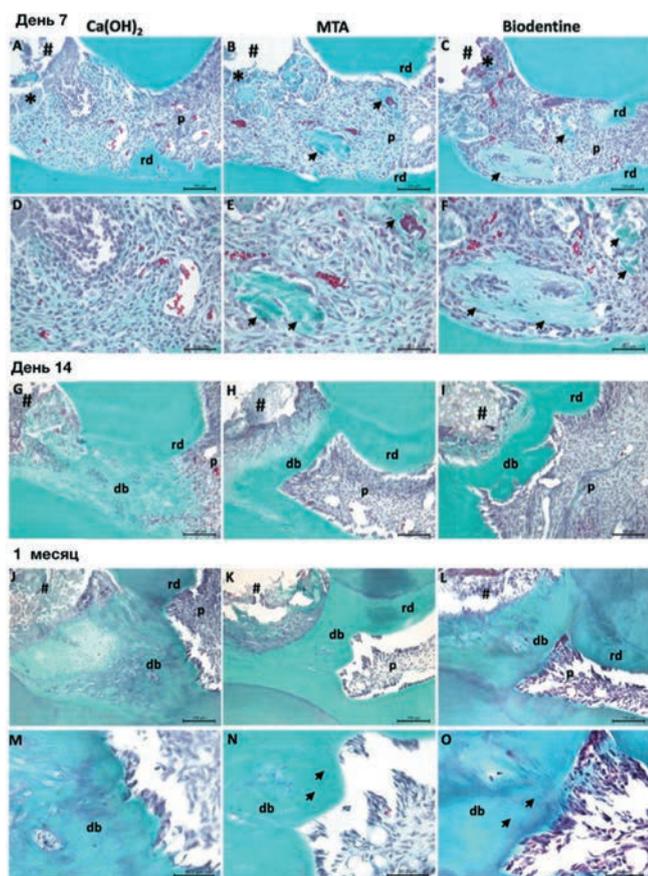
Оба силиката кальция индуцировали синтез репаративного дентина, вероятно, из-за модуляции фактора роста, трансформирующего клетки пульпы – секрецию b1 [63-65]. Стимуляция клеточной пролиферации и дифференцировки может быть связана с самим силикатом трикальция, который является одним из основных компонентов BD, и наличием ионов кальция и кремния [63, 64, 66-69].

Новый цемент на основе силиката трикальция BD был испытан in vivo на животных Tran et al. [66]. Это исследование оценило способность Biodentine, MTA и Ca(OH)₂ вызывать заживление пульпы при повреждении пульпы крысы (рис. 2).

Эти репаративные структуры, которые были индуцированы обоими цементами силиката кальция, были однородными и непрерывными с первичным дентином.

Аналогично предыдущему исследованию можно было четко наблюдать дентинные каналцы и клетки, секретирующие эту структуру, проявляющие одонтобластические свойства [67].

Данные исследования показывают [67], что последующая реакция пульпы после прямого покрытия за-



– биоматериал; * – зоны некроза; p – пульпа; rd – реакционный дентин; db – репаративный дентинный мостик

Fig. 2 [69]. Longitudinal follow-up of pulp healing. At day 7, Masson's Trichrome-stained sections showed limited necrosis areas and few inflammatory cells in the pulp tissue adjacent to the injured site for the 3 conditions (A, b, c). At higher magnification, green-stained newly formed collagen fibrils could be observed near the exposure site, but they appeared to be packed in bundles (arrowhead) in MTA and new calcium silicate cement groups (E and F, respectively) when compared with those in the Ca(OH)₂ group (D). At day 14, reparative dentin bridge formation was observed at the exposure site in all samples. This reparative tissue was discontinuous and heterogeneous with cell inclusions in the Ca(OH)₂ group (G), and homogeneous and continuous in the MTA and new calcium silicate cement groups (h and I, respectively). At 1 mo, the bridges had extended in the 3 treatment groups. The reparative tissue was continuous in the Ca(OH)₂ group, but appeared heterogeneous with cell inclusions (J, M). In contrast, bridges in the MTA and new calcium silicate cement groups (K and I, respectively) presented a tubular structure (arrowhead), well-distinguishable at higher magnification (n and O, respectively).

– biomaterial; * – necrosis areas; p – pulp; rd – reactionary dentin; db – reparative dentin bridge

висит от стерильности условий, то есть произошла ли бактериальная инвазия [7075]-. Микробная флора осложняет ответ пульпы на обособляющий материал [60]. Было отмечено, что бактерии стимулируют воспалительную активность пульпы и уменьшают площадь, а также активность формирования дентинного мостика независимо от материала, используемого для изоляции пульпы [60]. Многие авторы предполагают, что дальнейшая жизнеспособность пульпы после воздействия зависит не столько от потенциальной биологической активности BD или МТА, сколько от способности защитить пульпу от бактериального воздействия, иными словами, от антисептических свойств портландцементов [12, 14, 15, 35–37]. Предотвращение вторжения инфекционного агента в полость зуба является основополагающей целью в процессе лечения и одновременности положительных результатов лечения [60]. В итогах данного исследования [65] авторы отмечают отсутствие бактерий, что может указывать на то, что

BD и МТА имеют отличные герметизирующие свойства и предотвращают микроподтекания и пульпарное воспаление, обеспечивая вторичный барьер.

Различные факторы могут влиять на внутриканальную кальцификацию зубов, подвергнутых регенеративным эндодонтическим процедурам. Биологически активные материалы, в том числе ProRoot МТА и Biodentine (BD), широко используются в качестве коронарного барьера на заключительном этапе регенеративных эндодонтических процедур. Цель исследования, проведенного Wattanapakkavong et al. [76] состояла в том, чтобы оценить влияние МТА или BD, примененных в качестве коронарного барьера, на высвобождение трансформирующего фактора роста бета 1 (TGF-β1) из дентина корневого канала. Результаты исследования показали, что BD реализовал более высокую концентрацию TGF-b1, чем МТА. Кроме того, при использовании BD в одиночку в качестве коронар-

Рис. 2 [69]. Продольное наблюдение за заживлением пульпы. На 7-й день на окрашенных трихромом срезах Массона были обнаружены ограниченные участки некроза и небольшое количество воспалительных клеток в ткани пульпы, прилегающих к поврежденному участку, для трех состояний (A, b, c). При большем увеличении можно было наблюдать недавно окрашенные в зеленый цвет недавно образованные коллагеновые фибриллы вблизи места воздействия, но они, по-видимому, были упакованы в пучки (стрелки) в МТА и новых группах цемента на основе силиката кальция (E и F, соответственно) по сравнению с таковыми в группа Ca(OH)₂ (D). На 14 день во всех образцах наблюдалось репаративное образование дентинового мостика в месте воздействия. Эта репаративная ткань была прерывистой и неоднородной с клеточными включениями в группе Ca(OH)₂ (G), и гомогенной и непрерывной в МТА и новых группах цемента с силикатом кальция (h и I, соответственно). Через один месяц мосты были расширены в трех группах лечения. Репаративная ткань была непрерывной в группе Ca(OH)₂, но выглядела неоднородной с клеточными включениями (J, M). Напротив, мостики в МТА и новых группах цемента на основе силиката кальция (K и I соответственно) имели трубчатую структуру (кончик стрелки), хорошо различимую при более высоком

ного барьера имело место более высокая степень минерализация, чем при использовании МТА.

Laurent и соавт. [34] показали на модели зуба человека, что Biodentine и Pro-Root МТА индуцировали репаративный синтез дентина после прямого покрытия пульпы из-за значительно повышенного уровня секреции фактора роста трансформации (TGF-b1).

Обнаружение высоких уровней TGF-b1 можно объяснить высокой щелочностью исследуемых материалов [77]. Хотя и МТА, и BD демонстрировали высокие уровни pH, недавнее исследование показало, что самый высокий показатель pH BD пришелся на 14-й день, тогда как pH МТА постепенно снижался в течение времени [78].

Данные результаты соответствуют результатам предыдущих исследований, которые повествуют, что BD способствует большей одонтобластической дифференцировке, чем МТА [79, 80]. Одной из причин большего потенциала минерализации могла бы быть продуцирование большей концентрации TGF-b1, высвобождаемого из дентина при использовании BD.

Более того, в щелочной среде, созданной этим материалом, скрытая форма TGF-b1 трансформируется в активную форму, которая, в свою очередь, усиливает дифференциацию и минерализацию клетки [81]. Другие исследования также предполагают, что увеличение минерализации может быть связано с секрецией TGF-b1 [63, 74, 83].

Ранее исследования сообщали, что концентрация ионов кальция, выделяющихся из BD, значительно больше, чем освобожденных из МТА [85, 86]. Таким образом, большая дифференцировка клеток и минерализация, производимая BD по сравнению с МТА, может также объясняться большим количеством ионов кальция, высвобождаемых из этих материалы.

Обнаружено, что BD связан с высоким pH (12) и высвобождает ионы кальция и кремния, что стимулирует минерализацию и создает «зону минеральной инфильтрации» вдоль границы раздела дентин-цемент, обеспечивая лучшее уплотнение. Исследователи обнаружили, что BD обладает лучшими герметизирующими свойствами, чем МТА [27]. В то время как Torabinejad пришел к выводу, что МТА обладает хорошей герметизирующей способностью и хорошо герметизирует [28]. Другие же авторы оценили, что BD обеспечивают лучшую адаптацию и герметизацию, чем обычно используемый материал для наполнения корней [29]. Тем не менее другие исследователи [55] наблюдали меньшее количество микропротечек с МТА, чем с биодентином при анализе методом фильтрации жидкости.

Биологическая активность материалов является важной особенностью регенерации и заживление тканей. Активность заключается в способности материала при контакте с биологической жидкостью образовывать на поверхности гидроксипатит [22].

Биологическая активность МТА была доказана в нескольких исследованиях [22-24]: показали образование кристаллов гидроксипатита (межфазного слоя) в фосфатно-солевом буфере (PBS) Хотя исследования Atmeh et al. [25] и Han and Okij [23] in vitro показали биоактивность биодентина в дистиллированной воде и PBS.

В исследовании Kim et al. [26] была проведена сравнительная характеристика биоактивности, которая показывает уменьшение образования межфазного слоя в образцах BD по сравнению с МТА. Автор отмечает,

что соотношение Ca/P в межфазном слое статистически не различалось между материалами.

Результаты другого исследования [54] показали, что присутствие BD не влияет на жизнеспособность пульпы зуба, а также на ее биологическую функцию. Однако, по мнению Hirschman et al. [57], МТА не является нейтральным. Цитотоксичность группы МТА может быть объяснена высоким pH, который ингибирует активацию ферментов в цитоплазматической мембране клеток пульпы человека [57]. Эти результаты согласуются с предыдущим исследованием, показывающим одинаковую цитотоксичность Biodentine и белого МТА в фибробластах десны человека [55].

Измерение микротвердости по Виккерсу проводили многие авторы других исследовательских статей, где было установлено, что микротвердость МТА находится между 40 и 60 HV [27, 28]. Микротвердость по Виккерсу для BD варьирует от 51 до 130 HV [14]. Это может быть связано с различными экспериментальными установками. Показатель микротвердости по Виккерсу человеческого дентина составляет около 60 и 90 HV [29], который коррелирует с показателем BD. Тем самым, можно сделать вывод: BD значительно прочнее, чем МТА, и может быть использован в качестве заменителя дентина.

Некоторыми авторами был исследован такой физический фактор как рентгеноконтрастность обоих цементах. Согласно представленным результатам, ProRoot МТА был значительно более рентгеноконтрастным, чем биодентин [19, 20, 30]. Начальное время схватывания, по данным производителя биодентина, составляет около 12 минут. Однако в исследовании [27] время схватывания BD составило 45 минут. Gandolfi и соавт., проводя исследование, определили время схватывания МТА ProRoot между 165 ± 5 мин. и 170 ± 2 мин. [31].

Parirokh и Torabinejad [32] отметили, что МТА был менее токсичным, чем сравниваемые в статье материалы (амальгама, Super EBA и IRM). Тем не менее, BD обладает самой высокой биосовместимостью из всех испытанных материалов [33].

Различные авторы оценивали влияние МТА на микроорганизмы, демонстрируя противоречивые результаты [32, 34]. Было показано, что в аэробных условиях МТА может генерировать активные формы кислорода с антимикробной активностью. Parirokh и Torabinejad [32] обнаружили, что МТА не оказывает антибактериального действия против каких-либо строго анаэробных бактерий. Однако результаты не соответствуют исследованию, проведенному Matteo Ceci et al. [35]. Возможно, что сильно щелочной pH МТА обеспечивает свою антимикробную активность даже в анаэробных условиях. Информация об антибактериальной активности BD не найдена.

Kumar et al. в своих исследованиях сделали вывод, что BD обладает лучшей герметизирующей способностью по сравнению с МТА [37, 38]. Кроме того, результаты исследования, проведенного Khandelwal et al. показывают меньшее подтекание биодентина по сравнению с МТА ProRoot [39]. Различные результаты, полученные в этих исследованиях, можно отнести к разным процедурам и методикам, применяемым в каждом исследовании.

Chang [39], изучая химический состав и характеристику пористости, исследуя объем пор, диаметр пор и удельную площадь поверхности различных коммерческих эндодонтических цементах на основе силика-

та кальция, пришел к выводу, что ВД и МТА показали наименьший объем пор и диаметр пор соответственно, что можно рассматривать как превосходные физико-химические свойства, с точки зрения клинической эндодонтии.

Однако в исследовании Falk Schwendicke et al. [43] получили интересные результаты, которые доказывают превосходство МТА и ВД в реминерализации. Они обеспечили эффективную минеральную преципитацию и микротвердость.

Немаловажную роль в качественной оценке силикатсодержащих цементах играет их взаимодействие с различными интраканальными медикаментами. Проводя свое исследование, Nagas E., Sehreli Z. C. et al. [44] пришли к выводу, что ВД, взаимодействуя со всеми протестированными медикаментами (Augmentin, Ledermix и др.), показал более высокую прочность сцепления с дентином, чем МТА ProRoot. Этот результат соответствует предыдущему исследованию Gunesser et al. (2013) [45], который, в свою очередь, показал, что Biodentine установил значительно более прочные связи с дентином корня после воздействия различных эндодонтических ирригантов по сравнению с ProRoot МТА. По мнению Han & Okiji (2011) и Atmeh et al. (2012), такой эффект может быть результатом меньшего размера микрочастиц ВД, что позволяет усилить проникновение цемента в дентинные каналы, а также апатитобразующую способность [46, 47].

Marconyuk et al. [40] обнаружили, что ВД не вызывал значительного обесцвечивания в течение 60 дней после применения по сравнению с контрольной группой, что имеет подтверждение [41]. В исследовании, проведенном Kang et al. [42], ProRoot МТА и МТА Angelus вы-

зывали значительные изменения в цвете зубов через 8, 12 и 16 недель по сравнению с контрольной группой. В литературе отмечено, что элементы, такие как железо, марганец, меди и хром, окрашивают материал, переходя в оксидных формах. Таким же образом висмут, более тяжелый элемент, вызывает изменение цвета из-за его оксида.

Вывод

Клиническое использование биокерамики увеличилось за последние годы из-за их широкого спектра применения в эндодонтии. Введение МТА в практику рассмотрели как главный прорыв в истории науки и с тех пор пытались усовершенствовать свойства этого материала, чтобы достигнуть его максимального использования. Однако были несколько недостатков МТА, которые заставляли исследователей во всем мире искать его альтернативы. Трудный в использовании, минимальное время пластичности и высокая стоимость являются большей частью недостатков МТА.

В 2010 году произошел второй главный прорыв в стоматологии – выпуск ВД. Относительная легкость в использовании, низкая стоимость являются главными преимуществами ВД, по сравнению с МТА. Также цементами на основе силиката кальция МТА, способные к окрашиванию твердых тканей, ограничивают свое применение в эстетически значимых зонах, а именно при лечении фронтальной группы зубов. С другой стороны, некоторые из них, такие как Biodentine™, показали только небольшое изменение цвета, которое почти невидимо для человеческого глаза, таким образом ограничения к использованию при абсолютных показаниях к применению отсутствуют.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Манак Т. Н., Ключко К. Г., Митронин В. А. Обтурация корневых каналов как важнейший этап подготовки зуба к органосохраняющей операции // Эндодонтия Today. 2019. Т. 17. №1. С. 42-45.
2. Берхман М. В., Козлова С. С., Просин А. И., Черненко О. В. Апикальная микрохирургия vs повторное ортоградное лечение корневых каналов: критерии выбора метода лечения. Часть 1 // Эндодонтия today. 2019. 17 (2). С. 59-64.
3. Берхман М. В., Козлова С. С., Просин А. И., Черненко О. В. Apical microsurgery vs repeated orthograde treatment of root canals: criteria for selection of a method of treatment. Part 1 // Endodontics today. 2019. №17 (2). P. 59-64.
4. Митронин А. В., Рабинович И. М., Корнетова И. В. Лечение пациента с хроническим апикальным периодонтитом зуба 2.1 при наличии перфорации корня зуба 2.2. Клинический случай // Эндодонтия Today. 2018. №2. С. 72-77.
5. Митронин А. В., Рабинович И. М., Корнетова И. В. Treatment of a patient with chronic apical periodontitis of the tooth 2.1 in the presence of perforation of the tooth root 2.2. Clinical case // Endodontics Today. 2018. №2. P. 72-77.
6. Torabinejad M., Rastegar A. F., Kettering J. D., Pitt Ford, T.R. Bacterial leakage of the mineral trioxide aggregate as a root end filler // Journal of endodontics. 1995. №21 (3). P. 109-112.
7. Torabinejad M., Hong K. W., Pitt Ford, TR R., Kettering, J. D. Cytotoxicity of the four root end fillers // Journal of endodontics. 1995. №21 (10). P. 489-492.
8. Torabinejad M., Smith P. V., Kettering J. D., Pitt Ford T. R. Comparative study of the marginal adaptation of the mineral trioxide aggregate and other widely used root fillers // Journal of endodontics. 1995. №21 (6). P. 295-299.
9. Main S., Mirzayan N., Shabahang S., Torabinejad M. Restoration of root perforations using a mineral trioxide aggregate: a long-term study // Journal of endodontics. 2004. №30 (2). P. 80-83.
10. Thorabinejad M., Pitt Ford T. R. Root Fillers: Overview // Endod Dent Traumatol. 1996. №12. P. 161-178.
11. Korbella S., Ferrara G., El Kabbaney A., Tashieri S. Apexification, apexogenез and regenerative endodontic procedures: a review of the literature // Minerva Dentistry. 2014. №63 (11-12). P. 375-389.
12. Thorabinejad M., Hong Chu, Pitt Ford T. R., Kettering J. D. Antibacterial action of some root fillers // J Endod. 1995. №21. P. 403-406.
13. Chung C.J., Kim E., Song M., Pak J.V., Shin S.J. The effect of two fast-setting calcium silicate cements on cell viability and the release of angiogenic factor in cells derived from human pulp // Odontology. 2016. №104 (2). P. 143-151.
14. Ramos J. C., Palma P. J., Nascimento R. et al. 1-year in vitro assessment of teeth discoloration caused by 2 calcium silicate cements // Journal of endodontics. 2016. №42 (9). P. 1403-1407.
15. Chianconi L., Palopoli P., Campanella V. et al. Composition and microstructure of MTA and Aureoseal Plus: XRF, EDS, XRD and FESEM // European Journal of Pediatric Dentistry. 2016. №17 (4). P. 281-285.
16. On I. Biodentin: from biochemical and bioactive properties to clinical applications // Giornale Italiano di Endodonzia. 2016. №30 (2). P. 81-88.
17. Gilles R., Olivier M., inventors. Septodont, applicant. Dental composition. Patent WO 2011/124841, US 2013/ 0025498. 2011.
18. Abdullah D., Ford T. R., Papaioannou S., Nicholson J. et al. An evaluation of accelerated Portland cement as a restorative material // Biomaterials. 2002. №23 (19). P. 4001-4010.
19. Camilleri J., Pitt Ford T. R. Mineral trioxide aggregate: a re- view of the constituents and biological properties of the material // Int Endod J. 2006. №39. P. 747-754.
20. Watts J. D., Holt D. M., Beeson T. J. et al. Effects of pH and mixing agents on the temporal setting of tooth-colored and gray mineral trioxide aggregate // J Endod. №33. P. 970-973.
21. Torabinejad M., Hong Kong, MacDonald F, et al. Physical and chemical properties of the new root filling material // J Endod. 1995. №21. P. 349-353.
22. Danesh G., Dammashke T., Gert Hu. V. et al. Comparative study of individual properties of the ProRoot МТА and two Portland cements // Int Endod J. 2006. №39. P. 213-219.
23. Poggio S., Lombardini M., Alessandro S., Simonetta R. Solubility of root fillers: a comparative study // J Endod. 2007. №33. P. 1094-1097.

22. Tay F. R., Pashley D. H., Rueggeberg F. A. et al. Calcium phosphate phase transformation produced by the interaction of the portland cement component of white mineral trioxide aggregate with a phosphate-containing fluid // *Journal of Endodontics*. 2007. №33. P. 1347-1351.
23. Han L., Okiji T., Okawa S. Morphological and chemical analysis of different precipitates on mineral trioxide aggregate immersed in different fluids // *Dental Materials Journal*. 2010. №29. P. 512-517.
24. Sarkar N., Caicedo R., Ritwik P. et al. Physicochemical basis of the biologic properties of mineral trioxide aggregate // *Journal of Endodontics*. 2005. №31. P. 97-100.
25. Atmeh A. R., Chong E. Z., Richard G. et al. Dentin-cement interfacial interaction: calcium silicates and polyalkenoates // *Journal of Dental Research*. 2012. №91. P. 454-459.
26. Jong Ryul Kim, Ali Nosrat, Ashraf F. Fouad. Interfacial characteristics of Biodentine and MTA with dentine in simulated body fluid. *Journal of Dentistry*. Volume 43, Issue 2, February 2015, Pages 241-247.
27. Danesh G., Dammashke T., Gert Hu. V., Zandbiglari T., Shefer E. Comparative study of individual properties of the ProRoot MTA and two Portland cements // *Int Endod J*. 2006. №39. P. 213-219.
28. Nekofar M. Kh., Adusey G., Sheikhezayeh M. S., Hayes S. J., Bryant S. T., Dummer P. M. H. Effect of condensation pressure on the individual physical properties of a mineral trioxide aggregate // *Int Endod J*. 2007. №40. P. 453-461.
29. Ryge G., Foley D. E., Fairhurst C. W. Microindentation hardness // *J Dent Res*. 1961. №40. P. 1116-1126.
30. Gandolfi M. G., Iacono F., Agee K., Siboni F., Tay F., Pashley D. H. et al. The setting time and expansion in various media are experimental accelerated calcium silicate cements and the ProRoot MTA // *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2009. 108: e39-45.
31. Laghios C. D., Benson B. W., Gutmann J. L., Cutler C. W. Comparative X-ray contrast of tetracalcium phosphate and other root fillers // *Int Endod J*. 2000. №33. P. 311-315.
32. Grech L., Mallia B., Camilleri J. Study of the physical properties of root-based fillers based on tricalcium silicate cement // *Dent Mater*. 2013. 29: e20-8.
33. Pariroh M., Torabinejad M. The mineral trioxide aggregate: a complete review of the literature, part I: Chemical, physical and antibacterial properties // *J Endod*. 2010. №36. P. 16-27.
34. Zhou H. M., Shen Y., Wang Z. J., Li L., Zheng Y. F., Häkkinen L. et al. Evaluation of in vitro cytotoxicity of root recovery material // *J Endod*. 2013. №39. P. 478-483.
35. Al-Hezaymi K., Al-Shalan TA, Naggsbandi J., Oglesby S., Simon J. H., Rotshtein I. Antibacterial effect of preparations of two mineral trioxide aggregates (MTA) against *Enterococcus faecalis* and *Streptococcus sanguis* in vitro // *J Endod*. 2006. №32. P. 1053-1056.
36. Ceci M., Beltrami R., Chiesa M., Colombo M., Poggio C. Biological and chemical-physical properties of root-end filling materials: A comparative study. *J Conserv Dent*. 2015;18(2):94-99.
37. Laurent P., Camps J., About I. Biodentine(TM) induces TGF-beta1 release from human pulp cells and early dental pulp mineralization // *Int Endod J*. 2012. №45. P. 439-448.
38. Nikoludaki G. E., Kontogiannis T., Meli N. A., Kerezudis N. P. A comparative in vitro study of the sealing ability of four different materials used in furcation perforation // *Open J Stomatol*. 2014. №4. P. 402-411.
39. Soundappan S., Sundaramurthy J. L., Raghu S., Natanasabapathy V. Biodentine in comparison with the mineral trioxide unit in comparison with the intermediate restoring material for retrograde sealing of the root ends: research in vitro // *J Dent (Tehran)*. 2014. №11. P. 143-149.
40. Handalvall A., Karthik J., Nadig R. R., Jain A. The sealing ability of the mineral trioxide aggregate and biodentine as a material for filling root ends using two different methods of retro-preparation – an in vitro study // *Int J Contemp Dent Med Rev*. 2015. №150. P. 115-121.
41. Seok Wu Chang., Kartik J., Nadig R. R., Jain A. Chemical composition and characteristics of the porosity of various endodontic cements based on calcium silicate // *Int J Contemp Dent Med Rev*. 2015. №150. P. 115-121.
42. Valles M., Roig M., Duran-Sindreu F. et al. Color stability of teeth restored with Biodentine: a 6-month in vitro study // *J Endod*. 2015. №41. P. 1157-1160.
43. Kang S. H., Shin Y. S., Lee H. S. et al. Color changes of teeth after treatment with various mineral trioxide aggregate-based materials: an ex vivo study // *J Endod*. 2015. №41. P. 737-734.
44. Schwendicke F., Allam Al-Abdi, Agustin Pascual Moscardó, Alvaro Ferrando Cascales, Salvatore Sauroc. Remineralization effects of conventional and experimental ion-releasing materials in chemically or bacterially-induced dentin caries lesions // *J Dent Res*. 2013. №92 (4). P. 306-314.
45. Nagas E., Cehreli Z. C., Uyanik M. O., Vallittu P. K., Lassila L. V. J. Effect of several intracanal medicaments on the push-out bond strength of ProRoot MTA and Biodentine // *International Endodontic Journal*. 2015. №49 (2). P. 184-188.
46. Guner M. B., Akbulut M. B., Eldeniz A. U. Effect of various endodontic irrigants on the push-out bond strength of biodentine and conventional root perforation repair materials // *Journal of Endodontics*. 2013. №39. P. 380-384.
47. Han L., Okiji T. Uptake of calcium and silicon released from calcium silicate-based endodontic materials into root canal dentine // *International Endodontic Journal*. 2011. №44. P. 1081-1087.
48. Atmeh A. R., Chong E. Z., Richard G., Festy F., Watson T. F. Dentin-cement interfacial interaction: calcium silicates and polyalkenoates // *Journal of Dental Research*. 2012. №91. P. 454-459.
49. Felman D., Parashos P. Coronal tooth discoloration and white mineral trioxide aggregate // *J Endod*. 2013. №39. P. 484-487.
50. Valles M., Mercade M., Duran-Sindreu F. et al. Influence of light and oxygen on the color stability of five calcium silicate-based materials // *J Endod*. 2013. №39. P. 525-528.
51. Camilleri J. Color stability of white mineral trioxide aggregate in contact with hypochlorite solution // *J Endod*. 2014. №40. P. 436-440.
52. Marconyak L. J., Kirkpatrick T. C., Roberts H. W., Roberts M. D., Aparicio A., Himel V. T., Sabey K. A. A Comparison of Coronal Tooth Discoloration Elicited by Various Endodontic Reparative Materials // *Journal of Endodontics*. 2016. №42 (3). P. 470-473.
53. Marciano M. A., Costa R. M., Camilleri J. et al. Assessment of color stability of white mineral trioxide aggregate angelus and bismuth oxide in contact with tooth structure // *J Endod*. 2014. №40. P. 1235-1240.
54. Kang S., Shin Y., Lee H. et al. Color changes of teeth after treatment with various mineral trioxide aggregate-based materials: an ex vivo study // *J Endod*. 2015. №41. P. 737-741.
55. Chang S.-W., Lee S.-Y., Ann H.-J., Kum, K.-Y., Kim E.-C. The effect of endodontic cements on calcium silicate on biocompatibility and mineralizing potentials in human tooth pulp cells // *Journal of Endodontics*. 2014. №40 (8). P. 1194-1200.
56. Ozdemir H. O., Ozcelik B., Karabucak B. et al. Calcium ion diffusion from mineral trioxide aggregate through simulated root resorption defects // *Dent Traumatol*. 2008. №24. P. 70-73.
57. Zhou H. M., Shen Y., Wang Z. J. et al. In vitro cytotoxicity evaluation of a novel root repair material // *J Endod*. 2013. №39. P. 478-483.
58. Hirschman W. R., Wheeler M. A., Bringas J. S., Hoen M. M. Cytotoxicity comparison of three current direct pulp-capping agents with a new bioceramic root repair putty // *J Endod*. 2012. №38 (3). P. 385-388.
59. Nowicka A., Lipski M., Parafiniuk M., Sporniak-Tutak K., Lichota D., Kosierkiewicz A., Buczkowska-Radlińska J. Response of Human Dental Pulp Capped with Biodentine and Mineral Trioxide Aggregate // *Journal of Endodontics*. 2013. №39 (6). P. 743-747.
60. Camilleri J., Montesin F., Brady K., Sweeney R., Curtis R., Ford T. The constitution of mineral trioxide aggregate // *Dental Materials*. 2005. №21 (4). P. 297-303.
61. Asgary S., Eghbal M. J., Parirokh M. et al. A comparative study of histologic response to different pulp capping materials and a novel endodontic cement // *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2008. №106. P. 609-614.
62. Zarrabi M H., Javidi M., Jafarian A. H., Joushan B. Histologic assessment of human pulp response to capping with mineral trioxide aggregate and a novel endodontic cement // *J Endod*. 2010. №36. P. 1778-1781.
63. Al-Hezaimi K., Salameh Z., Al-Fouzan K. et al. Histomorphometric and microcomputed tomography analysis of pulpal response to three different pulp capping materials // *J Endod*. 2011. №37. P. 507-512.
64. Laurent P., Camps J., About I. Biodentine(TM) induces TGF-b1 release from human pulp cells and early dental pulp mineralization // *Int Endod J*. 2012. №45. P. 439-448.
65. Zanini M., Sautier J. M., Bernal A., Simon S. Biodentine induces immortalized murine pulp cell differentiation into odontoblast-like cells and stimulates biomineralization // *J Endod*. 2012. №38. 1220-1226.
66. Koubi G., Colon P., Franquin J. C. et al. Clinical evaluation of the performance and safety of a new dentine substitute, Biodentine, in the restoration of posterior teeth: a prospective study // *Clin Oral Investig*. 2013. №17. P. 243-249.
67. Raskin A., Eschrich G., Dejou J., About I. In vitro microleakage of Biodentine as a dentin substitute compared to Fuji II LC in cervical lining restorations // *J Adhes Dent*. 2012. №14. P. 535-542.

68. Koubi S., Elmerini H., Koubi G. et al. Quantitative evaluation by glucose diffusion of microleakage in aged calcium silicate-based open-sandwich restorations // Int J Dent. 2012. 2012:105863.
69. Laurent P., Camps J., De Meo M. et al. Induction of specific cell responses to a Ca3SiO- based posterior restorative material // Dent Mater. 2008. №24. P. 1486-1494.
70. Tran X. V., Gorin C., Willig C. et al. Effect of a calcium-silicate-based restorative cement on pulp repair // J Dent Res. 2012. №91. P. 1166-1171.
71. Iwamoto C. E., Adachi E., Pameijer C. H. et al. Clinical and histological evaluation of white ProRoot MTA in direct pulp capping // Am J Dent. 2006. №19. P. 85-90.
72. Aeinehchi M., Eslami B., Ghanbariha M., Saffar A. S. Mineral trioxide aggregate (MTA) and calcium hydroxide as pulp-capping agents in human teeth: a preliminary report // Int Endod J. 2003. №36. P. 225-231.
73. Eskandarizadeh A., Shahpasandzadeh M. H., Shahpasandzadeh M. et al. A comparative study on dental pulp response to calcium hydroxide, white and grey mineral trioxide aggregate as pulp capping agents // J Conserv Dent. 2011. №14. P. 351-355.
74. Faraco I. M. Jr, Holland R. Response of the pulp of dogs to capping with mineral trioxide aggregate or a calcium hydroxide cement // Dent Traumatol. 2001. №17. P. 163-166.
75. Accorinte M. L., Loguercio A. D., Reis A. et al. Response of human dental pulp capped with MTA and calcium hydroxide powder // Oper Dent. 2008. №33. P. 488-495.
76. Wattanapakkavong K., Srisuwan T., Clin Dent G. D. Release of Transforming Growth Factor Beta 1 from Human Tooth Dentin After Application of Either ProRoot MTA or Biodentine as a Coronal Barrier // Journal of Endodontics. 2019.
77. Graham L., Cooper P. R., Cassidy N. et al. The effect of calcium hydroxide on solubilisation of bio-active dentine matrix components // Biomaterials. 2006. №27. P. 2865-2873.
78. Zeid S. A., Alothmani O. S., Yousef M. K. Biodentine and mineral trioxide aggregate: an analysis of solubility, pH changes and leaching elements // Life Sci J. 2015. №12. P. 18-23.
79. Miller A. A., Takimoto K., Wealleans J., Diogenes A. Effect of 3 bioceramic materials on stem cells of the apical papilla proliferation and differentiation using a dentin disk model // J Endod. 2018. №44. P. 599-603.
80. Wongwatanasanti N., Jantarat J., Sritanaudomchai H., Hargreaves K. M. Effect of bioceramic materials on proliferation and odontoblast differentiation of human stem cells from the apical papilla // J Endod. 2018. №44 (8). P. 1270-1275.
81. Smith A. J., Scheven B. A., Takahashi Y. et al. Dentine as a bioactive extracellular matrix. Arch Oral Biol. 2012. №57. P. 109-121.
82. Tomson P. L., Grover L. M., Lumley P. J. et al. Dissolution of bio-active dentine matrix components by mineral trioxide aggregate // J Dent 2007. №35. P. 636-642.
83. Han L, Okiji T. Bioactivity evaluation of three calcium silicate-based endodontic materials _ Int Endod J 2013. №46. P. 808-814.
84. Gandolfi M. G., Siboni F., Botero T. et al. Calcium silicate and calcium hydroxide materials for pulp capping: biointeractivity, porosity, solubility and bioactivity of current formulations // J Appl Biomater Funct Mater. 2015. №13. P. 43-60.

Конфликт интересов:

Авторы декларируют отсутствие

конфликта интересов /

Conflict of interests:

The authors declare no conflict of interests.

Поступила / Article received 17.08.2019

Координаты для связи с авторами /

Coordinates for communication with authors:

Хабадзе З. С. / Khabadze Z. S.

E-mail: dr.zura@mail.ru

ORCID: 0000-0002-7257-5503