

КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕЗМЕТАЛЛОВЫХ РЕСТАВРАЦИЙ: ХИМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, СВОЙСТВА, ПОКАЗАНИЯ К ПРИМЕНЕНИЮ

С.И. Гажва, А.И. Тетерин, Е.И. Смирнова*

ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, Нижний Новгород

CERAMIC MATERIALS FOR NON-METAL RESTORATIONS: CHEMICAL COMPOSITION, PROPERTIES, AND INDICATIONS

S.I. Gazhva, A.I. Teterin, E.I. Smirnova*

Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia

E-mail: smirnova.kat@gmail.com

Аннотация

Технологическое развитие стоматологической индустрии, в частности в отрасли керамических материалов, включает изготовление безметалловых реставраций, сделанных из цельнокерамических материалов. По сравнению с металлокерамическими системами у цельной керамики есть ряд неоспоримых преимуществ: превосходные эстетические качества, биологическая совместимость, химическая инертность, низкая теплопроводность, оптимальные механические характеристики. Безметалловые материалы могут быть использованы для изготовления одиночных реставраций различного дизайна, например виниров, коронок, керамических вкладок типа inlay, onlay; в частности, из литий-дисиликатной керамики изготавливаются мостовидные конструкции; протезирование с опорой на имплантаты или в областях с наибольшей жевательной нагрузкой осуществляется с помощью материалов на основе полимерной матрицы. Высокие требования к эстетике ортопедических реставраций определяют квалифицированное развитие материалов из цельной керамики, способных заменить металлокерамические системы.

Ключевые слова: керамические материалы, цирконий, CAD/CAM, стеклокерамика, свойства, полимерная керамика.

Abstract

Technological development in the dental industry, particularly in the field of ceramic materials, includes the production of metal-free restorations made of all-ceramic materials. All-ceramic materials have a number of advantages over metal-ceramic systems such as: excellent esthetic properties, biocompatibility, chemical inertness, low thermal conductivity and optimal mechanical properties. Metal-free all-ceramic materials can be used for all kinds of single-tooth restorations of various design: such as veneers, inlays, onlays, crowns and posts; lithium disilicate ceramic can be used for 3-unit bridges; ceramic materials with resin matrix inside are especially suitable for crowns over the implants or for tooth restorations in zones with high masticatory pressure. High esthetic expectations in prosthodontic restorations dictate qualitative development of all-ceramic materials which can replace porcelain-fused-to-metal systems.

Key words: ceramic materials, zirconia, CAD/CAM, glass-ceramics, properties, resin-matrix ceramic.

Ссылка для цитирования: Гажва С.И., Тетерин А.И., Смирнова Е.И. Керамические материалы для безметалловых реставраций: химическое строение, свойства, показания к применению. Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2022; 1: 109–114.

Длительное время керамические материалы определялись как смесь металлов и неметаллов, состоящая из оксидов, нитридов, карбидов и силикатов. Стоматологическая керамика ранее преимущественно состояла из силикатов (диоксида кремния) или кремнезема [1].

Данная статья освещает недавно представленную систему классификации керамических материалов, основанную на их химическом строении, и показания к применению. Цель публикации – помочь стоматологам лучше ориентироваться в выборе безметалловых материалов для достижения наилучших результатов в своей ежедневной практике.

Растущая популярность поликристаллических материалов, не имеющих в составе кремния, и появление гибридной керамики обусловили необходимость новой классификационной системы. В соответствии с ней керамические и керамикоподобные материалы могут быть разделены на следующие группы:

1) керамика на основе стекловидной матрицы (стеклокерамика);

2) поликристаллическая керамика;

3) гибридная керамика на основе полимерной матрицы [2].

Стеклокерамика – это неорганический материал со стеклокристаллической структурой, а поликристаллическая керамика в своем составе имеет только кристаллическую матрицу без стекловидных частиц. Основой гибридной керамики является полимерная матрица, включающая преимущественно неорганические тугоплавкие соединения. Различные микрочастицы, включенные в химическую структуру материала, влияют на способность керамики подвергаться травлению кислотами для достижения прочной адгезивной фиксации [3].

Керамика на основе стекловидной матрицы

К этой группе относятся полевошпатная керамика, синтетическая стеклокерамика, инфильтрированная стеклокерамика [2].

Полевошпатная керамика – это традиционный вид стоматологической керамики. В ее состав входят сероватый

кристаллический минерал – полевой шпат, добываемый в горах и очищенный от примесей, в виде чистейшего порошка; кварц или диоксид кремния (55–65%), который придает полупрозрачность керамическим реставрациям и является матрицей; оксид алюминия (20–25%) для упрочнения структуры; каолин (4%), связывающий микрочастицы в кристаллической решетке [4].

Полевошпатные блоки CAD/CAM торговой марки VITABLOCKS (VITA Zahnfabrik) со средней зернистостью 4 мкм и прочностью на изгиб 154 МПа наиболее часто используются в стоматологической практике. Первая керамическая вкладка из материала VITA Mark I была изготовлена в 1985 г., а в 1991 г. появился однотонный материал с улучшенной химической структурой и физическими свойствами – VITA Mark II. Чтобы имитировать натуральные оптические свойства зубов, VITA выпускает следующие поколения: VITABLOCKS TriLuxe (2003) и TriLuxe forte (2007). TriLuxe включает три слоя, а TriLuxe forte – четыре слоя различной прозрачности от цервикальной зоны до режущего края, что особенно подходит для изготовления виниров, частичных и полных коронок во фронтальном отделе. Дальнейшее развитие цветопередачи материала реализовано в VITABLOCKS RealLife (2010) – это многоцветная полевошпатная керамика с различной интенсивностью оттенков и 3D-эффектом [3, 5].

Так называемая синтетическая стеклокерамика была изобретена, чтобы уменьшить расход натурального невозполнимого сырья. В строении материала преобладает кристаллическая основа, что снижает риск образования трещин и сколов и улучшает механические свойства керамики [6].

Микроструктура стеклокерамики состоит из дисперсной кристаллической фазы (кристаллов), окруженной полупрозрачной стекловидной субстанцией (матрицей). Матрица обладает такими свойствами стекла, как полупрозрачность, хрупкость и нелинейная линия перелома. Кристаллическая фаза обеспечивает цветовую адаптацию материала к твердым тканям зуба за счет своей непрозрачности (опаковости) и рассеивания света; кристаллы делают керамику более стабильной во время обжига и более устойчивой к нагрузкам в полости рта [5].

Кристаллы искусственно синтезируются методами контролируемой нуклеации (прекристаллизация) и кристаллизации. Размер и распределение кристаллов зависит от состава и обработки стекловидной основы и последующего теплового воздействия. Этот процесс позволяет произвести керамические материалы с такими стандартизированными свойствами, как однородность структуры, контролируемая светопроницаемость и стабильная прочность [4].

Окончательные механические свойства стеклокерамики достигаются: внутренними факторами – размер кристаллов, их количество и форма, распределение в пространстве (гомогенность), тепловое расширение/сжатие в результате взаимодействия стекловидной матрицы и кристаллической фазы; внешними факторами – условия производства керамики, ее эксплуатации в полости рта (влажность (устойчивость к коррозии), колебания pH-среды и температуры, циклические нагрузки и пиковые нагрузки, которые могут быть сверхвысокими в процессе жевания твердой пищи) [1].

К синтетической стеклокерамике относятся литий-дисиликатная керамика, армированный цирконием ли-

тий-силикат, керамика на основе кристаллов фторапатита и лейцита [2].

Стеклокерамика на основе кристаллов лейцита представлена на рынке материалом IPS Empress CAD. Материал состоит из однородно распределенных кристаллов лейцита (35–40%), синтезируемых путем обжига полевого шпата при температуре 1150 °С. Высокое содержание силикатов (60–65%) придает керамике свойства полупрозрачности, флуоресценции (испускание света при УФ-облучении) и опалесценции (рассеивание света). Кристаллы обеспечивают прочность на изгиб 160 МПа и уменьшают возникновение трещин за счет поглощения энергии разрушения. Диаметр кристаллов лейцита (KAlSi_2O_6) 1–5 мкм [6].

IPS Empress CAD – это монохроматический материал, индивидуализируемый с помощью специальных керамических красителей; IPS Empress CAD Multi – материал с высокой цветовой насыщенностью и опаковостью в цервикальной части и выраженной прозрачностью в области режущего края [1].

Для этой группы материалов лучшим методом обработки поверхности в сравнении с адгезивной фиксацией является протравливание плавиковой кислотой: растворение кристаллов лейцита происходит быстрее стекловидной матрицы, и поверхность материала под увеличением выглядит как пчелиные соты [3].

Также к лейцит-стеклокерамике относится линейка Paradigm C (2006), выпущенная 3M ESPE.

Литий-дисиликатная керамика представлена материалом IPS e.max CAD. Структура материала состоит из кристаллической фазы (70%), включенной в стекловидную матрицу. Для изготовления керамики используются прозрачные блоки стекловидной массы, содержащие ортосиликат лития. Затем на этапе частичной кристаллизации образуются кристаллы метасиликата лития Li_2SiO_3 (40%), встроенные в стекловидную матрицу. Это «промежуточная» кристаллическая фаза, когда заготовки могут быть легко отфрезерованы в САМ-блоки [5]. Прочность на изгиб на данном этапе составляет 130 ± 30 МПа. Готовые реставрации проходят термообработку (850 °С), где происходит формирование кристаллов дисиликата лития. Таким образом, керамика приобретает окончательные эстетические и механические свойства (прочность на изгиб 360 ± 60 МПа) [6].

Армированная цирконием литий-силикатная керамика является стеклокерамическим материалом, разработанным в партнерстве компаний Degudent, VITA и Института исследования силикатов им. Фраунгофера (ISC). Дальнейшие исследования были продолжены только при участии VITA и Dentsply, которые в 2013 г. выпустили материалы Celtra Duo (Dentsply, Degudent) и VITA Suprinity (VITA Zahnfabrik) [6].

Процесс изготовления реставраций из данной группы материалов проходит стадии, схожие с обработкой литий-дисиликатной керамики: расплавленный материал заливается в форму, и заготовка состоит из стекловидной матрицы. Далее следует нуклеация – предварительная температурная подготовка, когда начинаются формирование и рост кристаллов метасиликата лития. На данном этапе материал легко фрезеруется в САМ-блоки. Заключительная фаза кристаллизации проходит при температуре 840 °С и экспозиции 8 минут, когда реставрация принимает окончательный цвет и физические свойства [7].

Кристаллическая фаза на 25% состоит из метасиликата лития (Li_2SiO_3) и на 11% – из дисиликата лития ($\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$). На финальных этапах изготовления оксид циркония играет роль кристаллообразующего агента, но остается равномерно распределенным в стекловидной матрице [1].

Высокое содержание кремния (55–65%), включение в состав лития (15–21%) и оксида циркония (8–12%) придают керамике прочность на изгиб 370–420 МПа. Для сравнения: традиционная CAD-/CAM-стеклокерамика содержит около 1% оксида циркония [1, 7]. Такая структура материала положительно влияет на его оптические свойства: опалесценция, флуоресценция и заявленный производителем «эффект хамелеона» создают эстетику натуральных зубов. Размер кристаллов силиката лития в линейке Celtra (0,5–0,7 мкм) соответствует длине волны дневного света, что имитирует светоотражение естественной эмали зубов и обеспечивает флуоресценцию готовой реставрации [6].

По сравнению с керамикой из дисиликата лития механические свойства VITA Suprinity несоизмеримо выше: устойчивость к образованию микротрещин ($2,31 \pm 0,17$ МПа), прочность на изгиб ($443,63 \pm 38,90$ МПа), модуль упругости ($70,44 \pm 1,97$ ГПа) и твердость ($6,53 \pm 0,49$ ГПа) [4].

Представителями фтороapatитной стеклокерамики являются материалы IPS e.max Ceram и IPS e.max ZirPress (Ivoclar Vivadent). Данные продукты содержат кристаллы фтороapatита $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ различных размеров, хаотично распределенные в стекловидной матрице. Размер кристаллов менее 100 нм в диаметре, 2–5 мкм в длину [8].

IPS e.max Ceram – керамика для послойного нанесения на основе нанофтороapatитов в виде порошка, применяется для изготовления виниров и в качестве облицовочного слоя для реставраций из стеклокерамики или оксида циркония [5].

IPS e.max ZirPress – керамические блоки для техники прессования, которые подходят для производства виниров и облицовки циркониевых каркасов и супраструктур методом напрессовывания [1].

Прочность на изгиб материала IPS e.max Ceram значительно меньше, чем у IPS e.max ZirPress. Это связано с большим количеством пор в структуре керамики. Высокое содержание кремния (60%) и низкое содержание алюминия (12%) обуславливают низкий коэффициент прочности на изгиб – 90–110 МПа. Фтороapatитная стеклокерамика не может использоваться для изготовления несущего каркаса полноанатомических или протяженных реставраций [6].

В настоящее время развитие отрасли керамики ставит перед собой цель усилить защитные свойства стоматологических материалов. Стеклокерамика на основе флюорофлогопитов имеет схожие с другими представителями группы механические и физические свойства, но дополнительно позиционируется как биосовместимый материал за счет выделения ионов фтора. Прочность на изгиб составляет 120 МПа, показатель твердости по Викерсу ниже по сравнению с полевошпатной, литий-дисиликатной и гибридной керамикой [8].

Инфильтрированная стеклокерамика имеет структуру, которая состоит из взаимопроникающих фаз матрицы и наполнителя, создающих переплетенную микроструктуру. Материал изготавливается методом расплавления, когда суспензия из плотно упакованных керамических

микрочастиц запекается на огнеупорном штампе, или техникой CAD/CAM – порошок керамики прессуется в формы для изготовления блока, которые в дальнейшем фрезеруются в CAM-модуле для изготовления реставраций. При повторном обжиге пористая керамическая матрица инфильтрируется лантановым алюмосиликатным стеклом, что придает материалу прочность [5].

Окончательные механические и оптические свойства керамики зависят от химической структуры пористой матрицы [8].

VITA In-Ceram SPINELL состоит из кристаллов магния и алюминия (MgAl_2O_4), имеет наименьшую прочность (400 МПа), но наибольшую прозрачность, что показано при изготовлении одиночных коронок во фронтальном отделе [3].

VITA In-Ceram ALUMINA содержит алюминий, что позволило достичь оптимальных показателей прозрачности и прочности (500 МПа). Материал используется для производства одиночных коронок во фронтальном и жевательном отделах, мостовидных конструкций во фронтальном отделе (не более 3 единиц) [4].

VITA In-Ceram ZIRCONIA основан на алюминиевой матрице с включением циркония, максимально прочный (600 МПа) по сравнению с остальными стеклокерамическими материалами. Показаниями к применению материала являются одиночные коронки в жевательном отделе и мостовидные конструкции из 3 единиц вне зависимости от локализации. В показателях прочности на изгиб и трещиностойкости у материалов VITA In-Ceram ZIRCONIA и VITA In-Ceram ALUMINA значимой разницы не обнаружено [6].

В последнее время изготовление инфильтрированной стеклокерамики не оправдано из-за сложности и высокочувствительности производственного процесса, а также возросшей популярности литий-дисиликатной керамики и циркония [5].

Поликристаллическая керамика

Ключевая характеристика материалов данной группы – мелкозернистая кристаллическая структура без стекловидного компонента. Кристаллы плотно расположены в форме правильной матрицы, что обеспечивает высокую прочность и трещиностойкость; поверхность керамики устойчива к обработке плавиковой кислотой [1].

Алюминий

К этой группе материалов относятся Procera AllCeram (Nobel Biocare) – первая поликристаллическая керамика, In-Ceram AL (VITA Zahnfabrik) [5].

Оксид алюминия (Al_2O_3) – это минерал природного происхождения (корунд, боксит) с высоким показателем твердости по Моосу (9 баллов). Он используется в инженерии как абразивный материал и субстрат для электроники, в медицине – благодаря свойствам биологической совместимости, низкому трению, износостойкости и устойчивости к коррозии. Оксид алюминия применяется в качестве костнозамещающего материала (изготовление суставных шарниров) и для повышения устойчивости стоматологической керамики (так называемое дисперсионное упрочнение) [1].

Алюминий стоек к гидролизу, по сравнению с другими керамическими материалами обладает низкой теплопроводностью и высокой прочностью на изгиб (> 500 МПа).

Алюминиевые блоки на 99,5% состоят из Al_2O_3 . Вначале они производились частично спеченными для облегчения процесса фрезерования. Усадка, происходящая при последующем спекании материала, легко предсказуема, чем обеспечивается точная посадка реставрации. С тех пор как размалывание материала перестало приводить к изменению его структуры, появилась возможность изменять форму реставрации в уже спеченном состоянии, без необходимости последующего обжига [4].

Модуль упругости (380 ГПа), подвергающий алюминий объемным переломам (фрактурам), и растущий спрос на материалы с улучшенными механическими свойствами (цирконий) привели к снижению производства алюминиевой керамики [5].

Цирконий

Цирконий — это сверкающий серебристый металл, относительно мягкий и упругий, особенно в чистейшем виде. Наиболее важное соединение — диоксид циркония (ZrO_2), оксид по химическому строению и керамика по технологии изготовления. Земная кора состоит из циркония на 0,02%, крупнейшие залежи металла расположены в Бразилии и Южной Африке — в виде бадделита (моноклинный цирконий), высокая концентрация в Австралии и Индии в виде цирконсодержащего песка ($ZrSiO_4$). Металл был обнаружен в 1789 г. немецким химиком Мартином Генрихом Клапротом [9].

Чистый цирконий — это полиморфный материал, который существует в трех кристаллографических состояниях в зависимости от температуры материала. Этот феномен известен как аллотропия: различные структуры имеют одинаковое химическое строение, но отличающееся расположение атомных частиц. При охлаждении расплавленной фазы могут наблюдаться следующие состояния вещества:

- кубическое (с-фаза) при температуре 2370–2680 °С;
- тетрагональное (t-фаза) при температуре 1170–2370 °С;
- моноклинное (m-фаза) при температуре от 1170 °С до комнатной.

Самостоятельный переход из t-фазы с высокой плотностью материала в более устойчивую m-фазу с низкой плотностью связан с увеличением объема от 3 до 5%. Напряжение, возникшее во время охлаждения внутри модели, приводит к большому количеству микротрещин, ведущих к ранним осложнениям [7].

В далеком 1929 г. Ruff и соавт. предположили, что тетрагональная и кубическая формы циркония могут сохранять стабильность состояния при комнатной температуре в составе смеси с другими оксидами. Большое количество кислородсодержащих соединений было предложено в качестве стабилизаторов циркония: MgO , CaO , CeO_2 , Al_2O_3 , Y_2O_3 . Они использовались для снижения температуры фазы трансформации и предотвращения раскола циркония [9].

Позднее, в 1975 г., Hannink и соавт. рассмотрели переход из t-фазы в m-фазу для усиления трещиностойкости материалов на основе частично стабилизированного циркония [10], а в 1976 г. Claussen и Steeb объяснили этот механизм как «направленное поглощение микротрещин». Реставрация со стабильным t-цирконием становится объектом приложения внешних сил в случае температурного или стресса растяжения, перегрузки у пациентов с парafункцией или контакта с водой при низких температурах

(низкотемпературная деградация). Это является причиной сколов. Кристаллы оксида циркония переходят от тетрагональной формы к моноклинной, что сопровождается значительным увеличением объема и появлением трещин. Так как это расширение происходит в ограниченном объеме материала, создается компрессионный стресс на поверхности разлома, что затрудняет его дальнейшее распространение и предотвращает скол реставрации. Этот феномен получил название «усиливающая фаза трансформации» (LTD) [11].

Поскольку ранее явление «расширение натяжения» существовало только для стали, оксид циркония стал носить название «керамическая сталь» [1].

Lughi и Sergo в своей обзорной статье описали главные факторы усталости циркония. Это вид стабилизатора, его структура, размер частиц и остаточный стресс. Подходящим стабилизатором является оксид иттрия Y_2O_3 в содержании 3,5–8,0%. Теоретически плотность материала должна быть более 99% с размером зерна менее 0,3 мкм и незначительными моноклинными включениями, а остаточный стресс растяжения — менее 300 МПа [12].

Существуют различные виды циркониевых материалов, отличающихся структурой зерна, но только три из них используются в стоматологии: частично стабилизированный цирконий (PSZ); композит, укрепленный цирконием (ZTC), а именно алюминий (ZTA); тетрагональный поликристаллический цирконий (TZP) [4].

Частично стабилизированный цирконий (PSZ) — это двухфазный материал, содержащий t-фазу, осажденную в кубической матрице и стабилизированную магнезией. Существует только один доступный продукт MgO -PSZ на стоматологическом рынке, подходящий для машинной обработки. Это Denzir-M (Dentronic AB, Skellefte, Sweden) [5].

Композит, укрепленный цирконием (ZTC), содержит матрицу с высокоэластичной t-фазой; наиболее часто используемый металл матрицы — алюминий. Поэтому материал известен как алюминий, укрепленный цирконием (ZTA). Данный вид керамики применяют для изготовления медицинских протезов [6].

Тетрагональный поликристаллический цирконий (TZP) — цельный материал, состоящий из t-фазы. Форма, стабилизированная иттрием (Y-TZP), востребована для производства ортодонтических керамических брекетов, эндодонтических штифтов и ортопедических конструкций. PSZ и ZTC являются двухфазными материалами, а материал TZP состоит из одной фазы [3].

Циркониевые блоки для технологии CAD/CAM могут использоваться как в полуспеченном (пресинтеризованном), так и в полностью спеченном (синтеризованном) состоянии. Для лучшего качества реставрации можно применять пресинтеризованные меловидные блоки («зеленая фаза») с пористой микроструктурой (50% для IPS e.max ZirCAD), чтобы облегчить процесс фрезерования, уменьшить время работы и продлить срок службы фрез. После фрезерования в САМ-системе увеличенные в объеме коронки проходят синтеризацию при температуре 1350–1500 °С, усадку на 20–25% и процесс уплотнения материала (> 99%). Таким образом достигаются окончательные свойства керамики [7].

Циркониевые блоки для САМ-системы могут быть получены от производителя уже синтеризованными (изостатический прессованный HIP-цирконий, или

«белые блоки»). Этот материал уже обладает окончательной прочностью и однородностью структуры. Нет необходимости проводить обжиг после фрезерования. Он имеет высочайшую прочность на изгиб по сравнению с несколькими видами пресинтерзованного циркония. Но при работе с материалом увеличиваются время работы и износ фрез. После фрезерования алмазными борами поверхность НР-циркония имеет достаточно царапин и дефектов, что отрицательно сказывается на прочности и долговечности керамики [7].

Материалы на основе циркония среди всех керамик имеют высочайшую прочность на изгиб (более 900 МПа), устойчивость к образованию микротрещин (6–15 МПа^м) и твердость по Викерсу (1200–1350 HV), теплопроводность менее 2 Вт/мК, термоустойчивость (Т = 400–500 °С) [4].

Гибридная керамика

В последние несколько лет на стоматологическом рынке появилась новинка — гибридная керамика, состоящая из органической матрицы и керамических микрочастиц [5].

Эти материалы могут быть включены в классификацию стоматологической керамики, поскольку Американская стоматологическая ассоциация кода стоматологических процедур и номенклатуры определяет термин «керамика» как «прессованные, спеченные, полированные или фрезерованные материалы, содержащие преимущественно неорганические огнеупорные смеси, включая фарфор, стекло, керамику и стеклокерамику». Предыдущая версия кода (2012) определяла фарфор/керамику как «неметаллические, неорганические, не содержащие полимер смеси, изготовленные при высоких температурах (600 °С и выше), затем прессованные, полированные или фрезерованные, включая фарфор, стекло и стеклокерамику», поэтому группа гибридных материалов не входила в классификацию [2, 13]. К ним относится линейка Lava Ultimate (3М ESPE), продаваемая на рынке как полимерная нанокерамика (RNC) [6].

Материал состоит из нанокерамических частиц (наномеров и нанокластеров), заключенных в плотно упакованную полимерную матрицу. Lava Ultimate содержит несколько видов наномеров: наномеры кремния (20 нм в диаметре) и наномеры циркония (4–11 нм в диаметре). Из них синтезируются частицы нанокластеров. Наноразмер частиц позволяет включить в полимерную матрицу большой объем керамического наполнителя (около 80% всей массы). Наномеры и нанокластеры обрабатываются связующим агентом силаном для образования химических связей между керамическими частицами и полимерной матрицей. Материал изготавливается несколько часов при специальном температурном режиме. В итоге синтезируется высокопрочная керамика, которую не нужно повторно обжигать после фрезерования [4].

Особая структура и технология производства позволили получить материал с большей прочностью на изгиб (200 МПа), износостойкостью и устойчивостью к образованию микротрещин по сравнению с композитами, лучшей полируемостью и оптическими свойствами, что обусловлено наличием наночастиц. Благодаря полимерной матрице керамика устойчива к сколам, поглощает ударные нагрузки, не обладает хрупкостью. Но, несмотря на высокое содержание керамических частиц, материал

не рекомендуется для изготовления коронок; допустимы керамические вкладки типа onlay, inlay и виниры [7].

Полимер-инфильтрированная керамическая сеть — новый вид керамики, состоящий из нескольких взаимопроницающих фаз веществ [5].

VITA Enamic (VITA) включает две трехмерные структуры (сети), взаимопроницающие друг в друга, — основная мелкодисперсная полевошпатная сеть (75% объема) укреплена полимерной сетью, включающей метакрилат (25% объема). Керамические блоки производятся в несколько этапов: сначала порошок керамики прессуется и синтезируется для достижения пористой керамической структуры, которую затем заполняют связующим агентом и термополимеризуют. Сети объединяются химическими связями, создавая полимерную сеть [5].

Чтобы воспроизвести натуральный оттенок цвета, в 2017 г. VITA выпускает линейку VITA Enamic multiColor — блоки, состоящие из шести высокодетализированных цветовых слоев от пришеечной области до режущего края [1]. Прочность на изгиб данных двухфазных материалов достигает 150–160 МПа, что значительно выше показателей пористой (< 30 МПа) и полимерной керамики (135 МПа) [4, 13]. Повышенная устойчивость гибридной керамики в сравнении с отдельными компонентами объясняется армирующим механизмом полимерной сети по отношению к основной керамической фазе.

Показатели модуля упругости (30,14 ГПа), твердости (2,59 ГПа) и устойчивости к образованию микротрещин (1,72 МПа^{м^{0,3}}) максимально приближены к данным естественных тканей зуба. Из-за высокого содержания наполнителя (73,1% массы) у материала VITA Enamic наиболее высокое значение твердости по Викерсу — 189 HV; его износостойкость сравнима с натуральной эмалью. Перечисленные свойства и возможность фрезерования материала на небольшую толщину могут быть использованы для лечения пациентов с эрозиями, когда осуществлять препарирование зубов нежелательно [4].

Еще один вид керамики, относящийся к «гибкой нанокерамике», — CERASMART (GC). Материал состоит из относительно маленьких и равномерно распределенных частиц алюмосиликата бария, встроенных в полимерную матрицу. Прочность на изгиб (242 МПа) значительно выше, в то время как модуль изгиба (10,0 ГПа) и твердость по Викерсу (64,1 HV) уступают показателям Lava Ultimate (170,5 МПа / 14,5 ГПа / 97,9 HV) и VITA Enamic (140,7 МПа / 28,5 ГПа / 189,8 HV). Модуль упругости (3,07 ± 0,45 МПа) наиболее высокий, а твердость маргинального края (60 ± 16 мкм) — наиболее низкая по сравнению с гибридной керамикой других линеек [4].

Данные материалы обладают значением модуля эластичности, схожим с дентином, и модулем упругости, превышающим показатели полевошпатной керамики и стеклокерамики, а это означает, что значительный стресс может быть поглощен структурой без деформации и скола [10].

Поэтому гибридная керамика рекомендована для изготовления коронок с опорой на имплантаты, где отсутствует связочное соединение зуба, играющее роль амортизатора [6].

Время фрезерования в САМ-модуле уменьшено, что увеличивает срок службы фрез. Нет необходимости повторного обжига или кристаллизации после фрезерования, финальный блеск и гладкость реставрации достигаются полировкой поверхности материала. Гибридная керамика

устойчива к износу и бережно относится к естественным зубам-антагонистам. Реставрации можно легко починить в полости рта, хотя материалы характеризуются как не-скальываемые [5].

Клинические показания

Полевошпатная и лейцит-армированная керамика из-за низкой прочности на изгиб показаны для изготовления одиночных реставраций, например виниров, частичных коронок, керамических вкладок типа onlay, inlay. Литий-силикатная керамика, армированная цирконием, может использоваться в производстве коронок с опорой на имплантаты, а литий-дисиликатная керамика рекомендуется для изготовления не только одиночных реставраций, но и гибридных абатментов, коронок с опорой на них, мостовидных конструкций до 3 единиц (до вторых премоляров включительно) [5, 14, 15].

Благодаря полимерной матрице, низкой прочности на изгиб и высокой упругости гибридная керамика используется для производства одиночных конструкций – виниров, керамических вкладок (Lava Ultimate), коронок в жевательном, фронтальном отделах и с опорой на имплантаты (VITA Enamic, CERASMART) [6].

Плотно синтеризованный алюминий высокой чистоты используется для изготовления основных элементов конических и телескопических коронок в переднем и боковом отделах, мостовидных конструкций во фронтальном отделе не более чем с одним понтиком [1].

Цирконий, стабилизированный иттрием, показан для производства коронок в переднем и боковом отделах, абатментов, коронок с опорой на имплантаты, основы для телескопических коронок, мостовидных конструкций до 3 единиц, консольных мостовидных конструкций с минимум 2 абатментами и максимум 1 понтиком, не превышающим толщину 1 премоляра; адгезивных мостовидных конструкций в переднем отделе и большепролетных конструкций с опорой на мультиюниты (до 14 единиц); изогнутых мостовидных конструкций с максимум 4 понтиками в переднем отделе и 3 понтиками (DC-Zircon), расположенными через один между опорными абатментами в боковом отделе. Некоторые виды циркония (Lava Plus High Translucency Zirconia, 3M ESPE) показаны для клинических ситуаций с ограниченным межокклюзионным пространством, когда необходимо провести препарирование зуба (минимальная толщина окклюзионных бугров 0,5 мм) [5].

Заключение

Несмотря на широкий спектр показаний керамических материалов, существует ряд ограничений, которые необходимо учитывать.

Цельнокерамические реставрации не рекомендованы пациентам с низкими клиническими коронками, поддесневым препарированием (критично для адгезивной фиксации), неадекватным уровнем гигиены, с диагностированным чрезмерным жевательным давлением (бруксизм).

Будущее керамических реставраций весьма перспективно. Дальнейшее развитие химического состава, внутренней структуры, размера частиц, стремящегося к размеру «нано», совершенствующие протоколы машинного производства и лабораторных процессов – все это приведет к появлению новых материалов, удовлетворяю-

щих всем эстетическим, механическим и биологическим требованиям.

Литература

1. Гажва С.И., Тетерин А.И., Косян Д.Ф. Минимально инвазивный подход к протезированию дефектов твердых тканей зубов // Научный послы высшей школы – реальные достижения практического здравоохранения. – 2018. – С. 402–405. [Gazhva S.I., Teterin A.I., Kosyan D.F. Minimally invasive approach to dental prosthetics of hard tissue deficiency // A scientific impulse of higher school – actual achievements of practical healthcare. – 2018. – P. 402–405. In Russian].
2. American Dental Association. CDT: Code on dental procedures and nomenclature. URL: <http://www.ada.org/en/publications/cdt/>.
3. Bajraktarova-Valjakova E., Grozdanov A., Guguvcevski L. et al. Acid etching as surface treatment method for luting of glass-ceramic restorations, part I: Acids, application protocol and etching effectiveness // Open Access Maced J Med Sci. – 2018. – V. 6. – № 3. – P. 568–573.
4. Эльканов А.А., Брагин А.Е., Брагин Е.А. Определение вязкости разрушения керамических материалов, используемых для изготовления несъемных конструкций зубных протезов // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 4. – С. 93. [Elkanov A.A., Bragin A.E., Bragin E.A. The definition of fracture toughness of ceramic materials, used in fixed dental prostheses production // Contemporary problems of science and education. – 2017. – № 4. – P. 93. In Russian].
5. Giordano R., McLaren E.A. Ceramics overview: classification by microstructure and processing methods // Compend Contin Educ Dent. – 2010. – V. 31. – № 9. – P. 682–688.
6. Denry I., Holloway J.A. Ceramics for dental applications: a review // Materials. – 2010. – V. 3. – № 1. – P. 351–368.
7. Bajraktarova-Valjakova E., De Munck J., Yoshihara K. et al. Micro-morphological changes of various CAD-CAM blocks after different surface treatments // 47th Meeting of CED-IADR, Antalya, Turkey. – 2015. – Abstr. 0576.
8. Leung B.T., Tsoi J.K., Matinlinna J.P. et al. Comparison of mechanical properties of three machinable ceramics with an experimental fluorophlogopite glass ceramic // J Prosthet Dent. – 2015. – V. 114. – № 3. – P. 440–446.
9. Ruff O., Ebert F. Refractory ceramics: I. The forms of zirconium dioxide // Z Anorg Allg Chem. – 1929. – V. 180. – № 1. – P. 19–41.
10. Hannink R.H.J., Kelly P.M., Muddle B.C. Transformation toughening in zirconia-containing ceramics // J Am Ceram Soc. – 2000. – V. 83. – № 3. – P. 461–487.
11. Claussen N., Steeb J. Toughening of ceramic composites by oriented nucleation of microcracks // J Am Ceram Soc. – 1976. – V. 59. – № 9–10. – P. 457–458.
12. Lugh V., Sergio V. Low temperature degradation-aging-of zirconia: a critical review of the relevant aspects in dentistry // Dent Mater. – 2010. – V. 26. – P. 807–820.
13. Gul H., Khan M., Khan A.S. Bioceramics: types and clinical applications // Handbook of Ionic Substituted Hydroxyapatites. – Woodhead Publishing, 2020. – P. 53–83.
14. Ghayebloo M., Alizadeh P., Melo R.M. Fabrication of ZrO₂-Bearing lithium-silicate glass-ceramics by pressureless sintering and spark plasma sintering // J Mech Behav Biomed Mater. – 2020. – V. 105. – P. 103709.
15. Vickers N.J. Animal communication: when i'm calling you, will you answer too? // Curr Biol. – 2017. – V. 27. – № 14. – P. R713–R715.