

УДК 616.314-74

ДЕФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ ГИБРИДНЫХ КОМПОЗИЦИОННО-КЕРАМИЧЕСКИХ CAD/CAM МАТЕРИАЛОВ В СРАВНЕНИИ С ПОВЕДЕНИЕМ ДЕНТИНА И ЭМАЛИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ СЖАТИИ И РАСТЯЖЕНИИ

Ивашов А. С.¹, Мандра Ю. В.¹, Зайцев Д. В.², Панфилов П. Е.²

¹ ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Екатеринбург, Россия

² ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

Резюме

В работе проводится сравнение механических свойств восстановительных гибридных керамических CAD/CAM материалов со свойствами твердых тканей интактных зубов человека при одноосном сжатии и растяжении. Проведенное исследование показало, что фрезеруемые гибридные композиционно-керамические материалы для CAD/CAM реставраций Vita Enamic (VITA Zahnfabrik, Германия) и Lava Ultimate (3M ESPE, США) можно характеризовать как хрупкие твердые тела, которые способны к высокой упругой деформации, однако не способны к пластической деформации, как дентин. Прочности обоих материалов при сжатии и растяжении выше, чем у твердых тканей зубов человека. Vita Enamic является более жестким (практически в 2 раза) материалом по сравнению с Lava Ultimate. Выявлено, что Lava Ultimate по своим свойствам ближе к дентину, а Vita Enamic по жесткости ближе к эмали. В целом, данные материалы способны функционально и эстетически заменить интактный зуб при обоснованном выборе клинических показаний к использованию.

Ключевые слова: композиционный материал, керамический материал, дентин, эмаль, механические свойства.

Адрес для переписки:

Мандра Юлия Владимировна
ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России.
620026, г. Екатеринбург, ул. Репина, д. 3
Тел.: +7 (343) 2148679
E-mail: jmandra@mail.ru

Correspondence address:

Mandra Julia Vladimirovna
Ural State Medical University of the Ministry of Health of Russia
620026, Yekaterinburg, Repin str., 3
Phone: 7 (343) 2148679
E-mail: jmandra@mail.ru

Образец цитирования:

Ивашов А. С., Мандра Ю. В., Зайцев Д. В., Панфилов П. Е.
«Деформационное поведение гибридных композиционно-керамических cad/cam материалов в сравнении с поведением дентина и эмали человека при сжатии и растяжении».
Проблемы стоматологии, 2016, Т. 12, № 3. С. 88-92.
doi: 10.18481/2077-7566-2016-12-3-88-92
© Ивашов А. С. и соавт., 2016

For citation:

Ivashov A. S., Mandra J. V., Zaytsev D. V., Panfilov P. E.
«Deformation behaviour of hybrid composite-ceramic cad/cam materials in comparison with behaviour of the tooth dentine and enamel under compression and stretching».
The actual problems in dentistry, 2016, Vol. 12, № 3, pp. 88-92
DOI: 10.18481/2077-7566-2016-12-3-88-92

DEFORMATION BEHAVIOUR OF HYBRID COMPOSITE-CERAMIC CAD/CAM MATERIALS IN COMPARISON WITH BEHAVIOUR OF THE TOOTH DENTINE AND ENAMEL UNDER COMPRESSION AND STRETCHING

Ivashov A. S.¹, Mandra J. V.¹, Zaytsev D. V.², Panfilov P. E.²

¹ Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russian Federation

² Ural Federal University, Yekaterinburg, Russian Federation

The summary

The mechanical properties of hybrid composite-ceramic CAD/CAM materials are compared with properties of intact tooth hard tissues at monoaxial compression and stretching in this article. The conducted research demonstrated that hybrid composite-ceramic materials for CAD/CAM-restorations Vita Enamic (VITA Zahnfabrik, Germany) and Lava Ultimate (3M ESPE, the USA) can be characterized as fragile solid materials which are capable to high level bending deformation, but not to plastic deformation as a dentine. Lava Ultimate is closer to a dentine in the mechanical properties, and Vita Enamic is closer to an enamel in rigidity. In general, these materials are capable to replace functionally and esthetically intact teeth at the reasonable choice of clinical indications for using.

Keywords: composite material, ceramic material, dentine, enamel, mechanical properties.

Введение

Методы эстетико-функциональной реставрации зубов с применением CAD/CAM технологий широко используются стоматологами при микропротезировании, начиная с 80-х годов XX века. Технология позволяет изготавливать керамические виниры, вкладки, коронки с высокой точностью за короткий промежуток времени. Однако совершенствование реставрационных материалов для CAD-CAM метода остается актуальным вопросом современной стоматологии [3].

На сегодняшний день в стоматологии применяется большое количество гибридных композиционно-керамических материалов, состоящих из керамики с добавлением композитных полимеров. Обычные керамические материалы обладают высокой прочностью при сжатии, но меньшей деформируемостью и низкой прочностью на изгиб. Гибридные керамические материалы, модифицированные композиционными полимерами, благодаря своей сложной структуре обладают повышенной деформируемостью при высокой прочности на изгиб и сжатии. Поэтому реставрация, изготовленная из данных материалов, обладает большей износостойкостью и теоретически способна эксплуатироваться продолжительное время после установки [4].

Выбор материалов для прямой и непрямой эстетико-функциональной реставрации должен определяться биомиметическими параметрами, то есть близостью свойств материалов к естественным тканям зуба – дентину и эмали зубов человека – как в эстетическом, так и в механическом отношении [2]. При несоответствии прочностных характеристик восстановительных материалов будет нарушен механический баланс зубочелюстной системы при пережевывании пищи. При использовании материалов с высоким модулем Юнга вся нагрузка приходится на реставрированный зуб, и, как следствие, формируется травматическая окклюзия – локальная избыточная нагрузка. В противном случае, когда модуль Юнга восстановительного материала меньше, чем у зуба, однородное распределение напряжений зубного ряда будет также нарушено. Кроме того, прочность используемых материалов должна быть не ниже, чем у твердых тканей зубов [1]. Растяжение и сжатие являются основными схемами нагружения при статических испытаниях твердых материалов. Сравнение механических свойств твердых тканей зубов при этих схемах деформации позволит сделать правильный выбор материала для эстетико-функциональной реставрации зубов [5, 6].

Цель работы

Экспериментальное сравнение механических свойств гибридных композиционно-керамических материалов с наполнителем на основе диоксида циркония и диоксида кремния со свойствами дентина и эмали зубов человека.

Методика эксперимента

В качестве модельных материалов для исследований были взяты два гибридных композиционно-керамических материала для CAD/CAM реставраций: Vita Enamic (VITA Zahnfabrik, Германия) и Lava Ultimate (3M ESPE, США).

Vita Enamic – это гибридная керамика, которая состоит из структурно спеченной матрицы, поры которой заполнены полимерным композиционным материалом. Неорганический компонент керамики составляет 86% веса, органический компонент (полимер) – 14%. Неорганический компонент состоит из смеси диоксида кремния, оксида алюминия, оксида натрия и др. Полимерным материалом заполняют поры в керамике с помощью метода инфильтрации.

Lava Ultimate также состоит из керамической составляющей (80%) и полимера (20%). Основным неорганическим компонентом Lava являются наночастицы диоксида циркония и диоксида кремния. Наночастицы обработаны силаном, обеспечивающим взаимодействие с полимерной матрицей. Данный факт позволяет относить Lava Ultimate к полимерной нанокерамике (RNC).

Для изготовления образцов для механических испытаний блоки модельных материалов распиливали на пластинки толщиной 5 мм с помощью алмазной пилы с водным охлаждением образца. Далее пластинки просверливали полым алмазным сверлом в водной среде. Плоские поверхности после получения цилиндров обрабатывали на абразивных бумагах для достижения плоскопараллельности и нужной толщины. Окончательно они обладали цилиндрической формой диаметром 4,4 мм и толщиной 2,2 мм. Для каждого материала было изготовлено 20 образцов: из них 10 – на одноосное сжатие и 10 – на диаметрально сжатие /непрямое растяжение.

Механические испытания на одноосное и диаметрально сжатие проводили на разрывной машине Shimadzu AG-X 50kN (Япония),

с постоянной скоростью нагружения 0,1 мм/мин, на базе кафедры физики конденсированного состояния Института естественных наук Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. Обработка результатов выполнена на стандартном программном обеспечении для данной установки Trapezium-X.

Результаты и их обсуждение

Испытания на одноосное сжатие образцов из модельных материалов показали, что деформационное поведение Vita Enamic и Lava Ultimate подобны друг другу и их деформационные кривые можно описать прямой линией (рис. 1). Образцы из обеих групп полностью разрушались в процессе испытания. Поэтому их поведение при сжатии можно охарактеризовать как хрупкое. Механические характеристики Vita Enamic и Lava Ultimate при одноосном сжатии приведены в таблице 1. Vita Enamic прочнее на ~20%, чем Lava Ultimate, однако Lava Ultimate более упруго-деформируема: на ~55% по сравнению с Vita Enamic. Модуль Юнга гибридного керамического материала Vita Enamic выше, чем у Lava Ultimate, на ~90%.

Деформационное поведение Vita Enamic и Lava Ultimate при диаметрально сжатии/непрямом растяжении было подобно сжатию (рис. 2). Деформационное поведение можно было охарактеризовать как линейное, а по достижении максимального напряжения образцы разрушались в плоскости нагружения. Механические свойства Vita Enamic и Lava Ultimate при диаметрально сжатии представлены в таблице 2. При растяжении, в отличие от сжатия, прочность Lava Ultimate была выше по сравнению с Vita Enamic на ~20%, тогда как полная деформация и модуль Юнга у гибридного керамического материала Vita Enamic выше, чем у Lava Ultimate, в 2 раза.

Таблица 1
Механические свойства модельных реставрационных материалов в сравнении со свойствами дентина и эмали человека при одноосном сжатии

Материал	E , ГПа	σ_r , МПа	δ , %
Дентин [7]	4,42±0,23	527±30	27,0±3,4
Эмаль [8]	7,82±0,89	454±11	6,6±0,4
Lava Ultimate	5,27±0,11	516±24	11,3±0,4
Vita Enamic	9,89±0,32	627±26	7,2±0,3

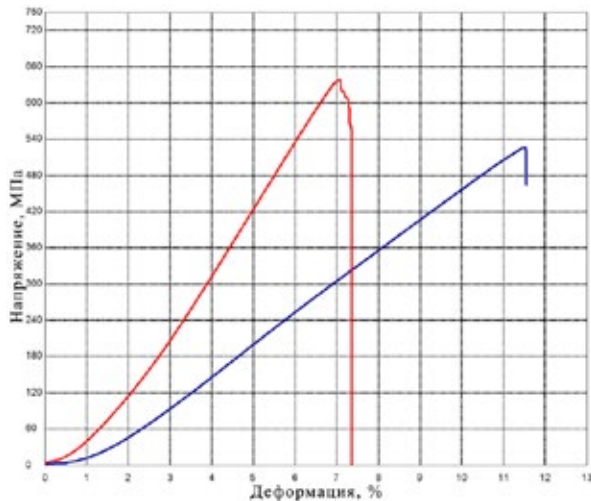


Рис. 1. Деформационные кривые реставрационных материалов при одноосном сжатии: красная кривая – Vita Enamic; синяя кривая – Lava Ultimate

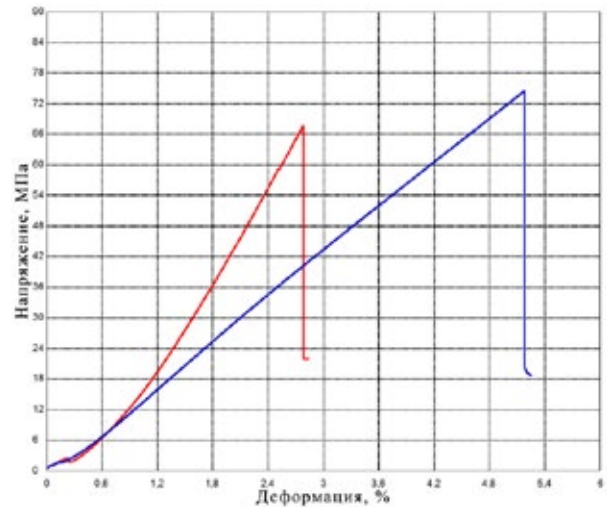


Рис. 2. Деформационные кривые реставрационных материалов при диаметральном сжатии/непрямом растяжении: красная кривая – Vita Enamic; синяя кривая – Lava Ultimate

Сравнивая деформационное поведение гибридных композиционно-керамических материалов при сжатии и растяжении, можно заключить, что их можно характеризовать как хрупкое твердое тело. Однако, в отличие от классических хрупких тел, данные материалы способны к высокой упругой деформации как при сжатии, так и при растяжении, что достигается за счет инфильтрации полимера. Vita Enamic является более жестким, практически в 2 раза, материалом по сравнению с Lava Ultimate. При этом Vita Enamic прочнее Lava Ultimate при сжатии, но его предел прочности ниже при растяжении. Различие в пределах прочности при растяжении и сжатии характерно для керамических материалов и может отличаться в 10 раз [5]. В случае с данными модельными материалами эта разница больше у Vita Enamic, по сравнению с Lava Ultimate, ~10 и ~7, соответственно (таблицы 1 и 2). Данное обстоятельство может быть обусловлено высокой прочностью диоксида циркония при изгибе, где достигается высокий уровень растягивающих напряжений.

Таблица 2

Механические свойства модельных реставрационных материалов в сравнении со свойствами дентина и эмали человека при диаметральном сжатии/непрямом растяжении

Материал	E , ГПа	σ_r , МПа	δ , %
Дентин [8]	1,50±0,09	62,6±5,2	4,7±0,6
Эмаль [9]	3,33±0,24	39,9±4,7	1,3±0,1
Lava Ultimate	1,44±0,02	73,4±2,4	5,2±0,1
Vita Enamic	2,86±0,15	61,9±9,9	2,6±0,2

Таким образом, Lava Ultimate по своим свойствам ближе к дентину, Vita Enamic по жесткости ближе к эмали. Общеизвестно, что механические свойства дентина и эмали зубов человека отличаются друг от друга. Стабильность их взаимодействия достигается за счет дентиноэмалевого соединения, которое компенсирует опасные напряжения на границе соединения дентина и эмали. Испытания образцов, содержащих дентин и эмаль, показали, что их деформационное поведение ближе к дентину, чем к эмали, но система менее деформируема, чем дентин [7, 8, 9]. Поэтому реставрация должна, с одной стороны, быть твердой, как эмаль, с другой стороны – эластично-податливой, как дентин. Механическая прочность гибридных композиционно-керамических материалов при сжатии и растяжении выше, чем у твердых тканей интактного зуба. Однако оба материала не способны к пластической деформации дентина, к подавлению роста трещин, что при эксплуатации может привести к сколам реставрации. Поэтому необходимо либо использовать комбинацию нескольких материалов, методов (прямой и не прямой) при изготовлении реставрации, либо тщательно определять показания к выбору материала с учетом глубины дефекта, вида патологического процесса в конкретной клинической ситуации. Перспективной остается дальнейшая разработка материалов, способных как к высокой прочности, так и к пластической деформации.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации НШ-9723.2016.5.

Литература

1. Ивашов, А. С. Моделирование деформационного поведения зубов человека после реставрации / А. С. Ивашов, Ю. В. Мандра, Д. В. Зайцев // Проблемы стоматологии. – 2016. – № 2. – С. 19-23.
2. Николаев, А. И. Практическая терапевтическая стоматология / А. И. Николаев, Л. М. Цепов. – Москва: Медпрессинформ, 2014. – 928 с.
3. Передовые технологии в оперативной стоматологии. Современная клиническая практика / под ред. Ж. Ф. Руле, Н. Уилсона, М. Фуцци. – Москва: Квинтэссенция, 2012. – 256 с.
4. Denry, I. Ceramics for dental applications: a review / I. Denry, J. A. Holloway // Materials. – 2010. – Vol. 3. – P. 351-368.
5. Miyazaki, T. A review of dental CAD-CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience / T. Miyazaki, Y. Hotta, J. Kunii // Dental Materials Journal. – 2009. – Vol. 28, № 1. – P. 44-56.
6. Shackelford, J. F. CRC Materials Science and Engineering Handbook / J. F. Shackelford, W. Alexander. – Third edition. – CRC-Press LLC, 2001. – 1980 p.
7. Zaytsev, D. On some features of the shape effect in human dentin under compression / D. Zaytsev, P. Panfilov // Materials Science and Engineering C. – 2014. – Vol. 45. – P. 205-209.
8. Zaytsev, D. Mechanical properties of human enamel under compression: On the feature of calculations / D. Zaytsev // Materials Science and Engineering C. – 2016. – Vol. 62. – P. 518-523.
9. Zaytsev, D. Deformation behavior of human enamel under diametral compression / D. Zaytsev, P. Panfilov // Materials Letters. – 2014. – Vol. 136. – P. 130-132.
10. On the deformation behavior of human dentin under compression and bending / D. Zaytsev, A. S. Ivashov, J. V. Mandra, P. Panfilov // Materials Science and Engineering C. – 2014. – Vol. 41. – P. 83-90.

References

1. Ivashov, A. S. Modelling of human teeth deformation behavior after restoration / A. S. Ivashov, J. V. Mandra, D. V. Zaytsev // The actual problems in dentistry. – 2016. – № 2. – P. 19-23.
2. Nicolayev, A. I. Practical conservative dentistry / A. I. Nicolayev, L. M. Tceпов. – Moscow: Medpressinform, 2014. – 928 p.
3. Advances in Operative Dentistry. Contemporary Clinical Practice / eds. J. F. Roulet, N. Willson, M. Fuzzi. – Quintessence Publishing Co, Inc, 2012. – 256 p.
4. Denry, I. Ceramics for dental applications: a review / I. Denry, J. A. Holloway // Materials. – 2010. – Vol. 3. – P. 351-368.
5. Miyazaki, T. A review of dental CAD-CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience / T. Miyazaki, Y. Hotta, J. Kunii // Dental Materials Journal. – 2009. – Vol. 28, № 1. – P. 44-56.
6. Shackelford, J. F. CRC Materials Science and Engineering Handbook / J. F. Shackelford, W. Alexander. – Third edition. – CRC-Press LLC, 2001. – 1980 p.
7. Zaytsev, D. On some features of the shape effect in human dentin under compression / D. Zaytsev, P. Panfilov // Materials Science and Engineering C. – 2014. – Vol. 45. – P. 205-209.
8. Zaytsev, D. Mechanical properties of human enamel under compression: On the feature of calculations / D. Zaytsev // Materials Science and Engineering C. – 2016. – Vol. 62. – P. 518-523.
9. Zaytsev, D. Deformation behavior of human enamel under diametral compression / D. Zaytsev, P. Panfilov // Materials Letters. – 2014. – Vol. 136. – P. 130-132.
10. On the deformation behavior of human dentin under compression and bending / D. Zaytsev, A. S. Ivashov, J. V. Mandra, P. Panfilov // Materials Science and Engineering C. – 2014. – Vol. 41. – P. 83-90.

Авторы:

Ивашов А. С., аспирант кафедры пропедевтики и физиотерапии стоматологических заболеваний ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России (г. Екатеринбург)
Мандра Ю. В., д. м. н., профессор, проректор по научной работе и инновациям, заведующая кафедрой пропедевтики и физиотерапии стоматологических заболеваний ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России (г. Екатеринбург)
Зайцев Д. В., к. ф.-м. н., доцент кафедры физики конденсированного состояния ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б. Н. Ельцина» (г. Екатеринбург)
Панфилов П. Е., д. ф.-м. н., профессор кафедры физики конденсированного состояния ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б. Н. Ельцина» (г. Екатеринбург)

Authors:

Ivashov A. S., graduate student of the Preclinical dentistry and Physiotherapeutic Department of the Ural State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Yekaterinburg)
Mandra J. V., PhD, DMS, Professor, Vice-rector of Science and Innovations, Head of the Preclinical dentistry and Physiotherapeutic Department of the Ural State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Yekaterinburg)
Zaytsev D. V., PhD, associate professor of the Department of the Physics of Condensed State of the Ural Federal University (Yekaterinburg)
Panfilov P. E., professor of the Department of the Physics of Condensed State of the Ural Federal University (Yekaterinburg)

Поступила 21.08.2016

Принята к печати 25.08.2016

Received 21.08.2016

Accepted 25.08.2016