

УДК 616.314-74

Моделирование деформационного поведения зубов человека после реставрации

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

¹ ГБОУ ВПО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России,
г. Екатеринбург, Россия

² Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

Резюме

В работе проводится оценка эффективности испытания реставрационных стоматологических материалов, адгезивно зафиксированных на дентине человека, при одноосном сжатии. Проведено сравнение деформационного поведения стоматологических материалов (SDR, Filtek P60, Filtek Ultimate Flowable, Filtek Ultimate), как одиночно, так и адгезивно зафиксированных на дентине, с деформационным поведением дентина человека при одноосном сжатии. Показано, что механические свойства композиционных материалов, соединенных с дентином, отличаются от свойств самих модельных материалов, но, несмотря на это, зная свойства используемых материалов, возможно предсказать их поведение в зубе после реставрации. Высоконаполненные композиты (Filtek Ultimate и Filtek P60) по свойствам наиболее близки к дентину, тогда как поведение низконаполненных композиционных материалов (SDR и Filtek Ultimate Flowable) значительно отличается от деформационного поведения дентина.

Ключевые слова: композиционные материалы, дентин зуба, реставрация, сжатие, адгезия.

Адрес для переписки:

Мандра Юлия Владимировна
ГБОУ ВПО «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.
«Моделирование деформационного поведения зубов человека после реставрации».
Проблемы стоматологии, 2016, Т. 12, № 2. С. 19-23.
doi: 10.18481/2077-7566-2016-12-2-19-23
© Ивашов А. С. и соавт., 2016

For citation:

Ivashov A. S., Mandra J. V., Zaytsev D. V.
«Modelling of human teeth deformation behaviour after restoration».
The actual problems in dentistry,
2016, Vol. 12, № 2, pp. 19-23.
DOI: 10.18481/2077-7566-2016-12-2-19-23

Modelling of human teeth deformation behaviour after restoration

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

¹ Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russian Federation

² Ural Federal University, Yekaterinburg, Russian Federation

The summary

In the work the efficacy of the adhesive dental restoration with different composites at monoaxial compression is tested. Deformation behavior of composite materials (SDR, Filtek P60, Filtek Ultimate Flowable, Filtek Ultimate) is compared in adhesive recording to a dentine at monoaxial compression. It is shown that mechanical properties of the composite materials are different because of their properties, but it is possible to predict their behavior in teeth after composite adhesive restoration. The high-filled composites (to Filtek Ultimate and Filtek P60) are closer to dentine mechanical properties whereas the behavior of the low-filled composite materials (SDR and Filtek Ultimate Flowable) significantly differs from deformation behavior of a dentine.

Key words: composite materials, tooth dentine, restoration, compression, adhesion.

Введение

Успех реставрации зуба во многом зависит от свойств выбранного материала, большое количество которых на сегодняшний день широко представлено на рынке. Немаловажным фактором является механическая совместимость свойств материала со свойствами твердых тканей зубов человека, в частности дентина. Как правило, в экспериментах оцениваются прочностные свойства либо самого материала, либо прочность его адгезивного соединения с дентином [3, 4]. В реальности после реставрации все эти механические факторы могут оказывать влияние одновременно. Поэтому их нужно учитывать в совокупности. Существует класс испытаний, когда моделируется работа зуба после реставрации под нагрузкой.

Одним из способов испытаний является сжатие блока из реставрационного материала, адгезивно соединенного с блоком из дентина человека [1, 2]. При данной схеме нагружения учитываются как прочностные свойства реставрационного материала, так и прочность их адгезивного соединения. Кроме того, деформационное поведение данной системы можно сравнить с поведением дентина человека, которое можно рассматривать как эталонное. Преимуществом данного типа испытания является то, что сжатие – принципиальная схема деформации зуба при пережевывании пищи. Сравнение механических свойств одиночных реставрационных материалов и соединенных с дентином позволит

оценить возможность сравнения свойств замещающих материалов без учета силы адгезивного сцепления.

Целью данной работы является проверка механических свойств и эффективности реставрационных композиционных материалов, адгезивно зафиксированных на дентине человека, при одноосном сжатии. Для чего проведено сравнение деформационного поведения ряда реставрационных стоматологических материалов на основе метакрилатных полимеров как одиночно, так и адгезивно зафиксированных на дентине, с деформационным поведением дентина человека при одноосном сжатии.

Материал и методы

В качестве модельных материалов для исследований были отобраны образцы четырех композиционных реставрационных стоматологических материалов на основе метакрилатных полимеров, отличающихся друг от друга количеством и типом наполнителя, а также производителем (SDR, Filtek P60, Filtek Ultimate Flowable, Filtek Ultimate).

Для изготовления образцов для механических испытаний материалы паковали в специально изготовленные формы с последующей конденсацией. После этого они отверждались при помощи лампы MegaLux, мощность 600 мВт/см² в течение 30 секунд. Для удаления возможного дефектного слоя на краях образцов

их поверхности обрабатывали на абразивных бумагах. Окончательно они обладали формой параллелепипедов с размерами $2 \times 2 \times 1,3 \text{ мм}^3$.

Для каждого материала было изготовлено 10 образцов.

Для сравнения механических свойств модельных материалов было изготовлено 10 образцов из дентина зубов человека с аналогичными размерами, которые были удалены у пациентов по медицинским показаниям. Дизайн исследования утвержден протоколом Локального этического комитета Уральского государственного медицинского университета (Екатеринбург.) Образцы дентина вырезали с помощью алмазной пилы с водным охлаждением в форме параллелепипедов из коронковых и корневых частей зубов. После чего боковые поверхности образцов обрабатывали шлифующими станками для получения более точных геометрических параметров и удаления поврежденного поверхностного слоя, возникшего при резке алмазным диском.

Для испытания на сжатие образцов дентина, адгезивно соединенных с реставрационным материалом, были изготовлены блоки из дентина с размерами $2 \times 2 \times 0,65 \text{ мм}^3$ по методике, приведенной выше. Их рабочие поверхности обрабатывали гелем ортофосфорной кислоты и выдерживали в течение 20 секунд для очистки дентинных каналов. После этого на них наносили адгезивную систему пятого поколения Adper Single Bond 2//3M ESPE. Далее на образце моделировалась «шапка» из композиционного материала, которая полимеризовалась по методике, описанной выше. Окончательно полученные образцы механически обрабатывали для придания им правильной геометрической формы и размеров $2 \times 2 \times 1,3 \text{ мм}^3$, толщина слоя дентина и реставрационного материала была одинакова, а граница их соединения была перпендикулярна направлению сжатия. Для каждого материала также было изготовлено 10 образцов.

Механические испытания на одноосное сжатие проводили на разрывной машине Shimadzu AG-X 50kN (Япония) с постоянной скоростью нагружения 0,1 мм/мин. Обработку результатов выполняли на Trazesium-X стандартном программном обеспечении для данной установки.

Результаты и их обсуждение

Испытания на сжатие образцов из модельных материалов показали, что материалы с высокой степенью наполнения (Filtek Ultimate и Filtek P60) разрушались по окончании испытания,

тогда как образцы, изготовленные из низконаполненных материалов (SDR и Filtek Ultimate Flowable), не разрушались, несмотря на зарождение в них трещин. Также модельные материалы можно разделить по типу их деформационного поведения в зависимости от количества наполнителя. Деформационные кривые высоконаполненных материалов были линейные, тогда как на кривых низконаполненных материалов и дентина человека можно выделить два характерных участка (рис. 1). Наклон деформационной кривой дентина человека на первом (линейном) участке совпадает с наклоном кривых высоконаполненных материалов. Механические свойства материалов приведены в таблице 1.

Детальное описание механических свойств дентина приведено в ранее проведенных исследованиях [5, 6]. Предел прочности Filtek Ultimate и Filtek P60 больше, чем у дентина, тогда как предел прочности дентина сравним с Filtek Ultimate Flowable и больше, чем у SDR. Модуль Юнга образцов дентина одинаков с образцами из Filtek Ultimate и Filtek P60 и выше остальных материалов. Величина упругой деформации всех модельных материалов больше, чем у дентина. Пластическая деформация дентина подобна Filtek Ultimate Flowable, но ниже, чем у SDR. Образцы Filtek Ultimate и Filtek P60 деформируются только упруго.

Деформационное поведение реставрационных материалов, адгезивно зафиксированных на дентине человека, качественно не отличалось от поведения чистых материалов (рис. 2). Наблюдается

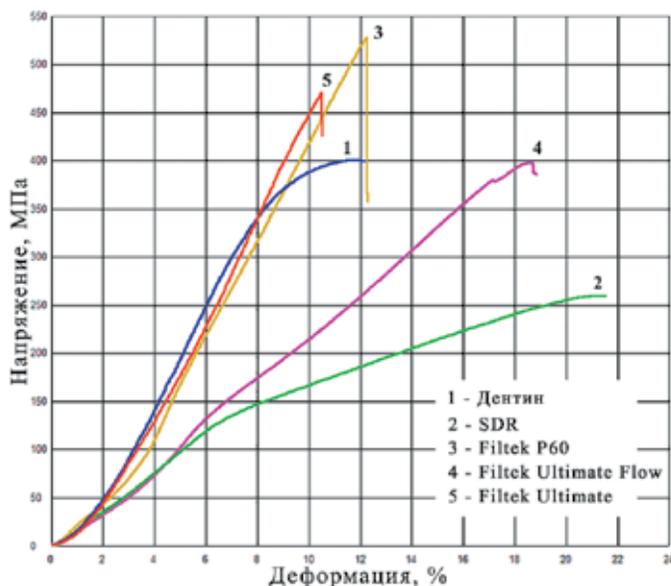


Рис. 1. Деформационные кривые дентина и реставрационных материалов при сжатии

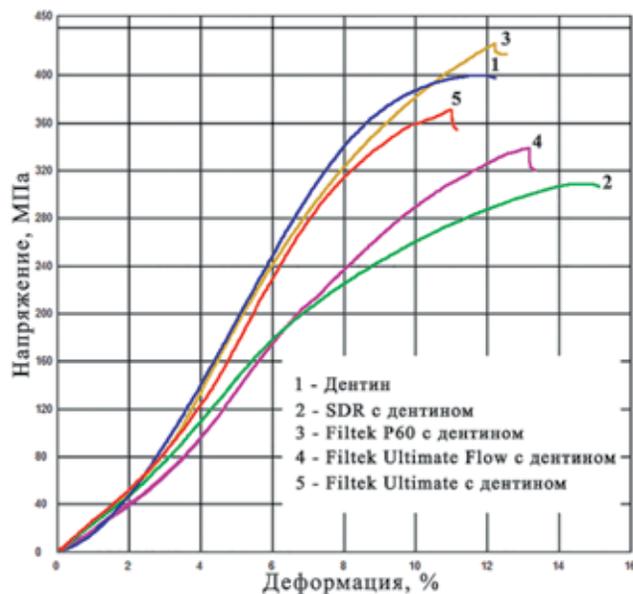


Рис. 2. Деформационные кривые при сжатии реставрационных материалов, адгезивно зафиксированных на дентине

также повышение прочности и уменьшение деформируемости с увеличением доли наполнителя. Однако при соединении с дентином эта разница менее значительна, но также существует заметная разница в поведении высоко- и низконаполненных материалов. Результаты механических испытаний приведены в таблице 2. По своим характеристикам высоконаполненные материалы (Filtek Ultimate и Filtek P60), соединенные с дентином, практически не отличаются от поведения

самого дентина. С другой стороны, деформационное поведение низконаполненных материалов (SDR и Filtek Ultimate Flowable) отлично от поведения дентина человека.

Следует отметить, что значение модуля Юнга определяется количеством наполнителя, в то время как прочность материала зависит от количества и размера наполнителя. Количество наполнителя в Filtek Ultimate и Filtek P60 похоже. Уменьшение количества наполнителя в SDR и Filtek Ultimate Flowable приводит к уменьшению прочности. При сжатии, когда взаимодействие между твердыми частицами является более значительным, уменьшение доли макронаполнителя повышает пластичность за счет того, что образуются области с более низким содержанием наполнителя, где пластическая деформация реализуется.

Механические свойства модельных материалов, соединенных с дентином, отличаются от свойств самих модельных материалов (таблицы 1 и 2). Поэтому можно заключить, что описание только деформационного поведения самих реставрационных материалов и их силы адгезии с дентином не дает полной картины деформационного поведения зуба после реставрации. При этом наблюдается общая тенденция: свойства реставрационного материала, адгезивно зафиксированного на дентине человека, являются приблизительно средними между свойствами испытываемого материала и свойствами дентина. Таким образом, зная свойства исполь-

Таблица 1

Механические свойства дентина и реставрационных материалов при сжатии

	E, ГПа	σ_b , МПа	$\epsilon_{упр}$, %	$\epsilon_{пласт}$, %	δ , %
Дентин	5,46±0,35	406±25	7,0±0,7	4,7±1,5	11,7±2,0
SDR	2,06±0,17	261±17	10,1±1,3	11,6±1,8	21,7±0,5
Filtek P60	4,98±0,04	525±24	-	-	12,7±0,4
Filtek Ultimate Flowable	2,31±0,11	403±18	12,8±0,9	5,2±0,8	18,4±0,7
Filtek Ultimate	5,07±0,19	477±16	-	-	10,9±0,4

Таблица 2

Механические свойства при сжатии реставрационных материалов, зафиксированных адгезивно на дентине

	E, ГПа	σ_b , МПа	$\epsilon_{упр}$, %	$\epsilon_{пласт}$, %	δ , %
SDR	3,14±0,17	309±12	8,9±1,0	6,6±0,7	15,5±0,7
Filtek P60	5,62±0,28	429±17	9,4±0,4	3,2±0,4	12,6±0,4
Filtek Ultimate Flowable	3,23±0,38	350±39	9,7±1,3	3,5±0,6	13,2±1,1
Filtek Ultimate	5,03±0,19	366±12	8,9±0,9	2,3±0,7	11,1±0,5

зуемых материалов, возможно предсказать их поведение в зубе после реставрации.

Проведенное исследование доказывает, что реставрационные материалы на основе полимеров с высокой степенью наполнения (Filtek Ultimate и Filtek P60) по свойствам наиболее близки к дентину, тогда как поведение низконаполненных материалов (SDR и Filtek Ultimate Flowable) отлично от поведения дентина. Меха-

нические свойства модельных материалов, соединенных с дентином, отличаются от свойств самих модельных материалов и являются средними между свойствами материала и дентина. Поэтому, зная свойства используемых материалов, при лечении поражений твердых тканей зубом методом эстетико-функциональной адгезивной реставрации можно предсказать их поведение в зубе после реставрации.

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

Литература

1. Власова М.И., Мандра Ю.В., Зайцев Д.В., Панфилов П.Е. Изучение влияния озона на формирование гибридной зоны в кариозных полостях пришеечной локализации//Проблемы стоматологии.– 2012.– №2.– С. 4-7.
2. Ивашов А.С., Мандра Ю.В., Зайцев Д.В., Панфилов П.Е. Прочностные особенности адгезивного соединения при одноосном сжатии//Проблемы стоматологии.– 2013.– №2.– С. 30-33.
3. Ferracane J.L. Resin composite – State of the art// Dental Materials.– 2011.– Vol. 27.– P. 29-38.
4. Van Meerbeek B., De Munck J., Yoshida Y., Inoue S., Vargas M., Vijay P., Van Landuyt K., Lambrechts P., Vanherle G. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges// Operative Dentistry.– 2003.– Vol. 28-3.– P. 215-235.
5. Zaytsev D. Correction of some mechanical characteristics of human dentin under compression considering the shape effect//Materials Science and Engineering C.– 2015.– Vol. 49.– P. 101-105.
6. Zaytsev D., Ivashov A.S., Mandra J.V., Panfilov P. On the deformation behavior of human dentin under compression and bending// Materials Science and Engineering C.– 2014.– Vol. 41.– P. 83-90.

References

1. Vlasova M.I., Mandra J.V., Zaytsev D., Panfilov P. Research of influence of ozone on hybrid zone formation in cervical carious cavities//The actual problems in dentistry.– 2012.– №2.– P. 4-7.
2. Ivashov A.S., Mandra J.V., Zaytsev D., Panfilov P. Strength features of adhesive connection at monoaxial compression // The actual problems in dentistry.– 2013.– №2.– P. 30-33.
3. Ferracane J.L. Resin composite – State of the art// Dental Materials.– 2011.– Vol. 27.– P. 29-38.
4. Van Meerbeek B., De Munck J., Yoshida Y., Inoue S., Vargas M., Vijay P., Van Landuyt K., Lambrechts P., Vanherle G. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges// Operative Dentistry.– 2003.– Vol. 28-3.– P. 215-235.
5. Zaytsev D. Correction of some mechanical characteristics of human dentin under compression considering the shape effect//Materials Science and Engineering C.– 2015.– Vol. 49.– P. 101-105.
6. Zaytsev D., Ivashov A.S., Mandra J.V., Panfilov P. On the deformation behavior of human dentin under compression and bending// Materials Science and Engineering C.– 2014.– Vol. 41.– P. 83-90.

Авторы:

Ивашов А.С., аспирант кафедры пропедевтики и физиотерапии стоматологических заболеваний ГБОУ ВПО «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 ГБОУ ВПО «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)

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)

Поступила 16.06.2016

Принята к печати 23.06.2016

Received 16.06.2016

Accepted 23.06.2016

АЛМАЗНЫЕ БОРЫ МАНИ

ВНИМАНИЕ!
Все боры и файлы Мани защищены
программой
ПРОВЕРКА ПОДЛИННОСТИ ТОВАРА



На каждую единицу товара нанесен
стикер с индивидуальным кодом



по которому можно проверить подлинность
товара на сайте: www.kraftwaydental.ru



Москва, 3-я Мытищинская 16
Тел.: 8-800-100-100-9 (бесплатные звонки из любых регионов)
www.kraftwaydental.ru, e-mail: dental@kraftway.ru

МАНИ