

СРАВНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ FILTEK ULTIMATE ПОВЫШЕННОЙ КОНВЕРСИИ И ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ДЕНТИНА ПРИ ТРЕХТОЧЕЧНОМ ИЗГИБЕ

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

¹ – ГБОУ ВПО Уральская государственная медицинская академия Минздрава России,

² – Уральский Федеральный Университет, Институт Естественных Наук,
г. Екатеринбург

АННОТАЦИЯ

В работе представлено сравнение деформационного поведения при трехточечном изгибе Filtek Ultimate полимеризованный при температуре 55°C и дентина человека. Образцы из обеих групп разрушались сразу после окончания испытания по линии нагружения. Показано, что Filtek Ultimate является более деформируемым материалом ($1,8 \pm 0,2\%$) по сравнению с дентином ($1,5 \pm 0,1\%$), тогда как его прочность (153 ± 13 МПа) и модуль Юнга ($10,74 \pm 0,45$ ГПа) меньше (195 ± 38 МПа и $14,46 \pm 2,49$ ГПа, соответственно для дентина).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: прочность, дентин, Filtek Ultimate

RESUME

In a comparison of the deformation behavior in three-point bending preheated Filtek Ultimate (55°C) and human dentin. Specimens from both groups been destroyed immediately after finishing the test along the line of loading. It is shown that Filtek Ultimate is more deformable material ($1,8 \pm 0,2\%$) compared to the dentin ($1,5 \pm 0,1\%$), whereas its strength (153 ± 13 МПа) and Young's modulus ($10,74 \pm 0,45$ GPa) lower (195 ± 38 МПа and $14,46 \pm 2,49$ GPa, respectively for the dentin).

KEYWORDS: strength, dentin, Filtek Ultimate.

Введение

Микрогибридный нанонаполненный композиционный материал на основе полимера Filtek Ultimate, на сегодняшний день является широко используемым материалом в стоматологической практике. Недавно было показано, что при сжатии предел прочности Filtek Ultimate превышает прочность дентина на ~20%, тогда как полная деформация и модуля Юнга этих материалов совпадают [3]. Характер разрушения, образец полностью распался на мелкие кусочки после испытания, и линейность деформационной кривой, указывает на то, что Filtek Ultimate, является хрупким материалом, но обладает достаточной упругостью. Известно, что дентин, также является высокоупругим материалом, но при этом обладает и значительной пластичностью, что позволяет ему эффективно подавлять рост трещин [6]. Несмотря на это, сравнивая деформационные кривые Filtek Ultimate и дентина можно сделать заключение, что Filtek Ultimate хорошо описывает поведение дентина при напряжениях меньше 350 МПа [3]. Это является достаточным для успешной эксплуатации зуба после реставрации, так как при пережевывании нормальной пищи напряжения ограничены 30 МПа, а при достижении 100 МПа, человек испытывает боль [5]. Однако, помимо сжимающих нагрузок, в процессе пережевывания, передняя группа зубов может подвергаться и изгибу. Известно, что свойства материалов при сжатии и изгибе, как правило, отличаются. При этом, прочность материала при изгибе может быть значительно ниже, чем при сжатии.

Цель исследования: сравнение деформационного поведения при трехточечном изгибе композиционного материала Filtek Ultimate повышенной конверсии (55°C) с дентином человека.

Методы и материалы

Было изготовлено 20 образцов для механических испытаний из Filtek Ultimate, для чего он формовался в форму с размерами $2 \times 4 \times 12$ мм³ с последующей конденсацией для исключения образования пор. Далее они отверждались светом лампы MegaLux в течение 30 секунд и полимеризовывались при температуре 55°C. После чего образцы обрабатывали на абразивных бумагах для

придания им более совершенной геометрии, и окончательно они имели размеры $0,8 \times 2 \times 12 \text{ мм}^3$. Для сравнения были также изготовлены 20 образцов с аналогичными размерами из дентина. Для этого были использованы 10 коренных человеческих зубов, без видимых патологий и удаленных согласно медицинским показаниям. Каждый зуб разрезали вдоль длинной оси, после чего части зуба механически обрабатывали для придания им соответствующей формы и размеров. Механические испытания на трехточечный изгиб проводили на разрывной машине Shimadzu AG-X 50kN при комнатной температуре и постоянной скоростью перемещения траверсы $0,1 \text{ мм/мин}$. Расстояние между опорами было 8 мм . Измерение линейных размеров образцов выполняли на микрометре. До и после испытания образцы аттестовывали на оптическом микроскопе при увеличении $\times 20$.

Результаты и их обсуждение

Наиболее близкие деформационные кривые к средним для групп образцов Filtek Ultimate и дентина человека приведены на рис. 1. После достижения максимального напряжения, происходило его резкое падение до нуля, что соответствовало разрушению образцов. Образцы распадались на две равные части по линии нагружения, где напряжения были максимальны (рис. 2). В образцах дентина, как правило, разрушение происходило под небольшим углом к поверхности образца (рис. 2б), тогда как в образцах Filtek Ultimate, разрушение происходило всегда перпендикулярно (рис. 2а). Такое поведение дентина связано с его сложным строением, наличием выделенных направлений, границ зерен минерализации, ориентировок дентинных каналов и т.д. Определить, какая деформация была при испытании, упругая или пластичная, не представляется возможным, но так как после испытания / разрушения образца, части образца отлетали на значительное расстояние, можно предположить, что они обладают достаточной упругостью. На деформационной кривой для образца, изготовленного из Filtek Ultimate можно выделить два характерных участка (рис. 1, кривая 1). Первый линейный, начинался из начала координат и заканчивался при $\sim 80 \text{ МПа}$ и $\sim 0,8\%$. По наклону этого участка был рассчитан модуль Юнга $E = 10,74 \pm 0,45 \text{ ГПа}$. Для материалов на основе полимеров модуль Юнга имеет условное значение и определяет только наклон кривой на начальном этапе испытания [1]. Далее следовал нелинейный участок до $\sim 150 \text{ МПа}$ и $\sim 1,8\%$. Точка максимального напряжения определялась, как предел прочности образца при изгибе $\sigma_{\text{н}} = 153 \pm 13 \text{ МПа}$ и полная деформация $\delta = 1,8 \pm 0,2\%$. Деформационная кривая дентина, хорошо аппроксимируется прямой линией (рис. 1, кривая 2). В точке максимального напряжения, был рассчитан предел прочности и полная деформация при испытании, $\sigma_{\text{н}} = 195 \pm 38 \text{ МПа}$ и $\delta = 1,5 \pm 0,1\%$, соответственно. Так как величина деформации $\sim 1\%$ и она линейная, то по наклону кривой можно рассчитать модуль Юнга $E = 14,46 \pm 2,49 \text{ ГПа}$. Большой разброс результатов связан с большим размером, относительно размера зуба, образцов и, следовательно, неоднородностью, как по минеральному содержанию, так и по ориентировки дентинных каналов, что делало каждый образец уникальным. Форма деформационной кривой и тип разрушения образца, позволяет сделать заключение, что при изгибе дентин можно характеризовать, как хрупкий материал. Механические величины при изгибе дентина совпадают со значениями полученными ранее [4]. Результаты испытаний для обеих групп образцов, приведены в Таблице 1. Полная деформация образцов Filtek Ultimate больше на $\sim 20\%$, чем у дентина, тогда как предел прочности и модуль Юнга меньше на 20% и 25% соответственно. При сравнении хода деформационных кривых Filtek Ultimate и дентина, видно, что они расходятся сразу же после начала испытания (рис. 1), несмотря на то, что при сжатии они практически накладываются друг на друга до 350 МПа [3]. Такая разница в деформационном поведении двух жестко связанных материалов может привести к разрушению конструкции. Действительно при восстановлении фронтальной группы зубов особенно при реставрациях IV класса по Блеку, появляются изгибающая нагрузка при протрузионных движениях нижней челюсти.

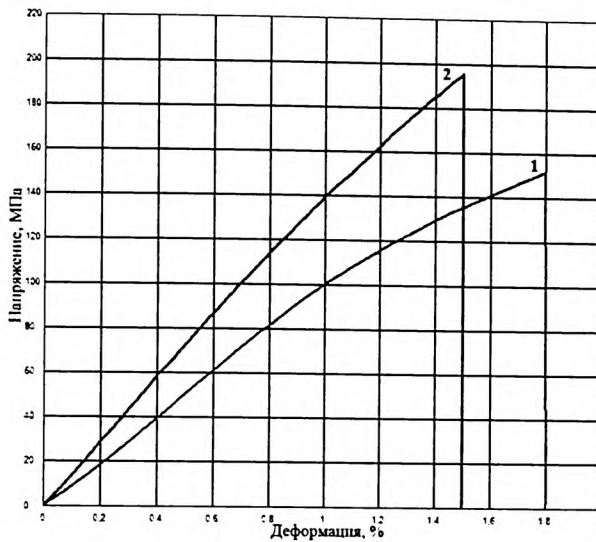


Рис. 1. Деформационные кривые при изгибе: кривая 1 – Filtek Ultimate; кривая 2 – дентин.

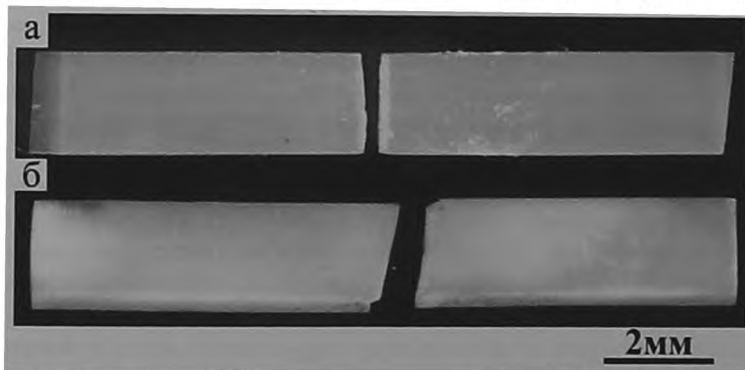


Рис. 2. Поверхности образцов после испытания: а – Filtek Ultimate; б – дентина

Таблица. 1

Механические свойства Filtek Ultimate и дентина при изгибе

Материал	Е, ГПа	σ_{II} , МПа	δ , %
Filtek Ultimate (55С°)	10,74±0,45	153±13	1,8±0,2
Дентин	14,46±2,49	195±38	1,5±0,1

Выводы

1. Дентин человека по своему деформационному поведению при трехточечном изгибе ведет себя, как хрупкий материал в отличие от Filtek Ultimate у которого присутствует продолжительный нелинейный участок на деформационной кривой.

2. Не смотря на это, оба материала разрушались после достижения их предела прочности по линии нагружения. Filtek Ultimate является более деформируемым материалом, на ~20%, по сравнению с дентином, хотя его прочность и модуль Юнга меньше на 20% и 25% соответственно.

3. Полученная разница в деформационном поведении говорит о необходимости дальнейшего поиска путей усовершенствования техник реставрации твердых тканей зубов.

Работа выполнена при поддержке проекта ориентированных фундаментальных исследований УрО РАН № 12-5-022-УМА, а также гранта РФФИ для молодых ученых № 12-05-31225 мол-а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуль В.Е., Кулезнев В.Н. Структура и механические свойства полимеров: Учеб. для хим.-технолог. вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство «Лабиринт», 1994. 367 с.
2. Зайцев Д.В., Григорьев С.С., Антонова О.В., Панфилов П.Е. Деформация и разрушение человеческого дентина// Деформация и разрушение материалов -2011, том 6, с. 37-43
3. Ивашов А.С., Зайцев Д.В., Мандра Ю.В. Зависимость прочностных свойств современных композиционных материалов при сжатии от температуры полимеризации// Проблемы стоматологии -2011, т. 5, с. 30-34.
4. Michal Staninec, Harrison Nguyen, Paul Kim, Grayson W. Marshall, R. O. Ritchie, Sally J. Marshall. Four-point bending evaluation of dentin-composite interfaces with various stresses// Med Oral Patol Oral Cir Bucal. 2008 Jan1;13(1):E81-4
5. Waters N. E. Some mechanical and physical properties of teeth// Symp Soc Exp Biol -1980, vol. 34, pp. 99-135
6. Zaytsev D., Grigoriev S., Panfilov P. Deformation behavior of human dentin under uniaxial compression//International Journal of Biomaterials -2011, vol. 2011, Article ID 854539, 8 pages