



# АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ композитной реставрации режущего края зуба (I класс по Меликяну М.Л.)

## (Часть II)

### М.Л.Меликян

• д.м.н., профессор, кафедра ГБОУ ДПО КГМА, главный врач ООО "АрмаСтом Меликяна", г. Москва  
Адрес: 123103, Москва, ул. Маршала Тухачевского, д. 55, 1 этаж, XXIV пом.  
Тел.: 8 (495) 725-15-75  
E-mail: armstom@mail.ru

### К.И.Давыдова

• соискатель, ГБОУ ДПО КГМА, главный врач, стоматологическая клиника ООО "Д Вита Дент", г. Москва  
Адрес: г. Москва, ул. Авиаконструктора Миля, д. 26  
Тел.: 8 (499) 742-14-95  
E-mail: ks\_dav@mail.ru

### С.С.Гаврюшин

• д.т.н., профессор, зав. кафедрой МГТУ им. Н.Э.Баумана  
Адрес: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5  
Тел.: 8 (499) 263-68-54  
E-mail: gss@rk9.bmstu.ru

### К.С.Мартirosян

• профессор, кафедра Физики и Астрономии, Техасский университет (Браунсвилл),  
Адрес: 80 Fort Brown, SETB 2.258, Brownsville, TX, 78520  
Тел.: 956 882-67-36  
E-mail: karen.martirosyan@utb.edu

### И.В.Компаниец

• ассистент кафедры РК-5 МГТУ им. Н.Э.Баумана  
Адрес: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5  
Тел.: 8 (926) 059-27-08  
E-mail: igor.komp.s@yandex.ru

### К.М.Меликян

• соискатель, ГБОУ ДПО КГМА, врач-стоматолог, ООО "АрмаСтом Меликяна", г. Москва  
Адрес: 123103, Москва, ул. Маршала Тухачевского, д. 55, 1 этаж, XXIV пом.  
Тел.: 8 (495) 725-15-75  
E-mail: lika17@mail.ru

### Г.М.Меликян

• к.м.н., врач-стоматолог, ООО "АрмаСтом Меликяна", г. Москва  
Адрес: 123103, Москва, ул. Маршала Тухачевского, д. 55, 1 этаж, XXIV пом.  
Тел.: 8 (495) 725-15-75

**Резюме.** В работе представлены результаты конечно-элементного исследования напряженно-деформированного состояния композитных реставраций, применяемых при устранении дефекта режущего края зуба, глубиной до 2 мм (I класс по М.Л.Меликяну).

Особое внимание уделено исследованию адгезивного слоя, соединяющего композитную реставрацию с твердыми тканями зуба и являющегося критическим с позиций прочности для реставрации в целом. При анализе напряженно-деформированного состояния реставрации используется оригинальная программа GLUMEKER, позволяющая создавать в автоматическом режиме конечно-элементную модель адгезивного слоя.

Результаты математического моделирования показывают, что формирование ретенционной полости сложной геометрической конфигурации при устранении дефекта режущего края, глубиной до

2 мм (I класс по М.Л.Меликяну), с применением композитных валиков, позволяет: (1) снизить величину максимальных напряжений в области адгезии (проблемная зона) на 27,38%, по сравнению с композитной реставрацией, без формирования ретенционной полости сложной геометрической конфигурации; (2) сместить область адгезии (проблемная зона) в безопасную зону, в частности — к границе перехода режущего края, к средней трети коронковой части зуба; (3) обеспечить макромеханическую ретенцию реставрации в вертикальном, медио-дистальном и вестибуло-оральном направлениях; (4) увеличить площадь соприкосновения композитного материала с твердыми тканями зуба; (5) снизить риск возникновения осложнений, тем самым значительно увеличить срок функционирования восстановленного зуба.

**Ключевые слова:** дефект режущего края зуба, композитная реставрация/реконструкция, риск возникновения осложнений, ретенционная полость, область адгезии, численное моделирование, напряженно-деформированное состояние, конечно-элементная модель адгезивного слоя.

**Analysis of stress strain behavior of composite restoration of cutting edge defect (I class Melikyan).**

**Summary.** The aim of the present study was to investigate the stress strain behavior of the repaired dental solid tissues in adhesion area (I class Melikyan), depending on the method of composite restorations. The particular attention was paid to the adhesive layer connecting the composite restoration with dental hard tissues. On the whole the adhesive layer is critical from the standpoint of strength for the restoration. In the analysis of the stress-strain state of the original program of restoration was used GLUMEKER allowing to create automatically a finite element model of the adhesive layer.

The results of mathematical modeling indicate that the formation of retention cavities of complex geometric configurations in case of repairing tooth with cutting edge (2 mm depth) defect (I class Melikyan), using a composite material allows to: (1) reduce the amount of maximum stress in the adhesive zone (problem area) up to 27.38% compared with a composite restoration without the formation of cavities retention of complex geometric configuration; (2) to move the region of adhesion (problem area) in the safe zone — in particular, to the boundary of the transition to the cutting edge of the middle third of the crown of the tooth; (3) to ensure macro mechanical retention of restoration in the vertical, mesial-distal and vestibular — oral directions; (4) increase the contact area of a composite material with dental solid tissues; (5) decrease the risk of dental complications increase the restored tooth operation. In collaboration with scientists at the Department of the RK-9, Bauman Moscow State Technical University (bmstu) was developed software package GLUMEKER based on finite element analysis of adhesive layer, which allows to evaluate the stress strain behavior of the repaired solid tooth tissue depending on the method of composite restorations.

**Key words:** stress strain behavior, mathematical modeling, tooth with cutting edge (2 mm depth) defect (I class Melikyan), restoration/reconstruction, the area of adhesion (problem area), macro mechanical retention of composite restorations, the risk of complications of composite restorations, finite-element model of the adhesive layer.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Лабораторные исследования проводились совместно с сотрудниками Московского государственного технического университета им. Н.Э.Баумана.

В качестве исходных данных для построения моделей были использованы шесть удаленных зубов передней группы зубов (рис. 1).

Компьютерные томограммы анализируемых зубов были получены с помощью современного аппарата LightSpeed RT (General Electric), USA (рис. 2).

При численных исследованиях использовались усредненные механические характеристики материалов: микрогибридный композиционный материал, эмаль зуба, дентин и периодонт. Характеристики материалов, использованные в расчетах, представлены в табл. 1.

При проведении компьютерного моделирования для исследования были построены следующие математические модели:

1. Модели зубов с искусственно созданными дефектами режущего края, глубиной до 2 мм, устраненными с применением светоотверждаемого композитного материала без формирования ретенционной полости сложной геометрической конфигурации.
2. Модели зубов с искусственно созданными дефектами режущего края, глубиной до 2 мм, устраненными с применением светоотверждаемого композитного материала с формированием ретенционной полости сложной геометрической конфигурации.



■Рис. 1. Передняя группа неповрежденных (интактных) зубов

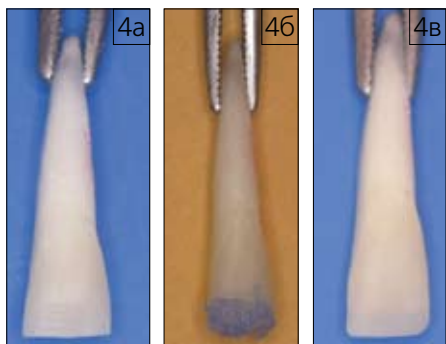
■Рис. 2. Изображение среза зуба по результатам компьютерной томографии

■Таблица 1. Физико-механические характеристики материалов

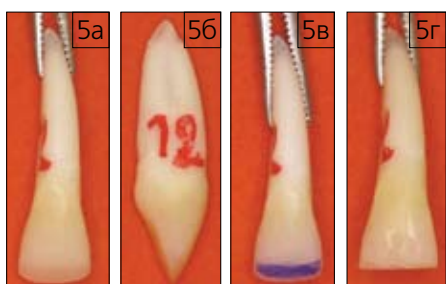
Материал	Модуль упругости материала, E, [МПа]	Коефф. Пуассона, ν	Предел прочности, σ <sub>с</sub> , [МПа]
Композит Filtek™ Z - 250	1,5 × 10 <sup>4</sup>	0,3	100
Зубная эмаль	8,0 × 10 <sup>4</sup>	0,33	70
Дентин	1,47 × 10 <sup>4</sup>	0,3	17
Периодонт	1,0 × 10 <sup>3</sup>	0,45	—
Адгезив SINGLE BOND	1,48 × 10 <sup>4</sup>	0,3	—



■Рис. 3. а) Неповрежденный (интактный) зуб передней группы; б) Измерение размера дефекта на неповрежденном (интактном) зубе



■Рис. 4. а) Создание дефекта режущего края, глубиной до 2 мм, без формирования ретенционной полости сложной геометрической конфигурации; б) Кислотное протравливание; в) После устранения дефекта режущего края с применением композитного материала без формирования ретенционной полости сложной геометрической конфигурации



■Рис. 5. а) Реставрированный зуб без формирования ретенционной полости сложной геометрической конфигурации (вестибулярная поверхность); б) Реставрированный зуб без формирования ретенционной полости сложной геометрической конфигурации (проксимальная поверхность); в) Граница планируемого дефекта режущего края, глубиной до 2 мм; г) Этап препарирования зуба после формирования дефекта режущего края, глубиной до 2 мм

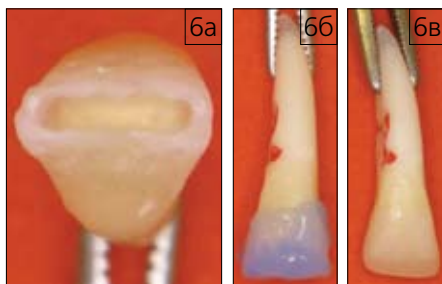
Для проведения исследования на неповрежденных (интактных) удаленных зубах искусственно формировался дефект режущего края, глубиной до 2 мм (I класс по Меликяну М.Л.) (рис. 3). Далее дефект был устранен с применением светоотверждаемого композитного материала без формирования ретенционной полости сложной геометрической конфигурации (рис. 4).

При устранении дефекта режущего края, глубиной до 2 мм, по предлагаемой авторами методике, с целью сопоставления результатов проводимого исследования, были повторно использованы зубы, отреставрированные с применением композитного материала, без формирования ретенционной полости сложной геометрической конфигурации. На первом этапе препарировали и полностью удаляли композитную реставрацию, то есть повторно формировали дефект режущего края зуба, глубиной до 2 мм (I класс по Меликяну М.Л.). Далее, по режущему краю формировали ретенционную полость сложной геометрической конфигурации. Вновь сформированный таким образом дефект устраняли с применением композитных валиков, согласно разработанному авторами способу (рис. 5, б). Под композитным валиком подразумевается порция композитного материала, по форме приближенная к цилиндру.

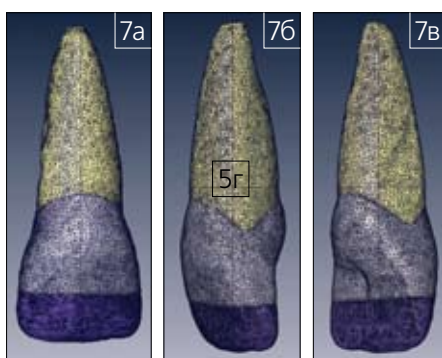
Удаленные зубы вновь проходили компьютерную томографию на современном аппарате Light Speed RT General Electric, USA.

В качестве исходных данных для математического моделирования использовались: трехмерные твердотельные модели, построенные на основе растровых послойных изображений зубов; физико-механические характеристики материалов тканей зуба и светоотверждаемого композитного материала; условия закрепления и нагружения зубов.

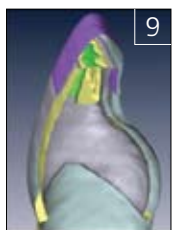
Построение численных моделей, используемых при расчетах, проводилось в четыре этапа:



■Рис. 6. а) Этап формирования ретенционной полости сложной геометрической конфигурации; б) Кислотное протравливание; в) После устранения дефекта режущего края с применением композитного материала со сформированной полостью сложной геометрической конфигурации



■Рис. 7. Триангуляция моделируемого зуба: а) вестибулярная поверхность; б) вестибулярная и проксимальная поверхности; в) небная и проксимальная поверхности



■Рис. 9. Твердотельная модель зуба, рассеченная вертикальной плоскостью



■Рис. 10. Твердотельная модель ретенционной полости сложной геометрической конфигурации: а) вид сверху; б) дно ретенционной полости; в) вид с проксимальной поверхности

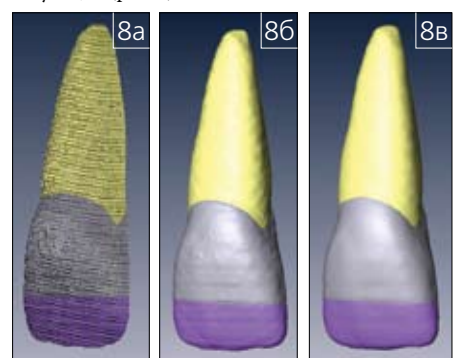
**Первый этап: построение трехмерной твердотельной модели**

В качестве исходных данных для построения трехмерной твердотельной модели использовались компьютерные томограммы зубов в виде растровых изображений послойных срезов. Для получения изображения использовался компьютерный рентгеновский томограф "LightSpeed RT" (General Electric), USA. Томографические изображения получают с помощью ограниченного рентгеновского конического луча, просвечивающего исследуемый объект. Технология использования конического луча позволяет получать детализированное изображение высокого разрешения. Трехмерный вид дает полную характеристику определенной области. Существует возможность получения послойных срезов под любым углом для оптимального визуального анализа отображения. Послойные изображения представляются в специализированном формате DICOM. Построение модели на основании данных компьютерной томографии позволяет учитывать не только особенности поверхности, но и внутреннюю структуру биомеханической модели.

Первичная обработка томографических отображений, сохраненных в формате DICOM, проводится при помощи программы Amira 5.2.0. Целью

первичной обработки является определение границ между различными материалами, которые на исходных изображениях представлены в растровом виде. Следует отметить, что в определенной мере этот этап имеет субъективный характер и существенно зависит от практического опыта и навыков исследователя.

На основе растровых послойных изображений создается так называемая трехмерная твердотельная модель, которая, в отличие от растровой (тоновой) модели, содержит геометрические образы: точки, линии, поверхности, объемы. Послойное изображение позволяет построить отображение пространственных поверхностей, разделяющих ткани с различными физико-механическими свойствами. Для описания поверхностей используется представление поверхностей в виде совокупности плоских треугольных областей, так называемая триангуляция (рис. 7).



■Рис. 8. а) До сглаживания поверхностей моделируемого зуба; б) Этап сглаживания поверхностей моделируемого зуба; в) После сглаживания поверхностей моделируемого зуба

Для построенных триангулированных поверхностей проводится проверка и коррекция треугольников с целью устранения возможных дефектов. Поверхности проверялись на качество ее граней. С помощью специального тестирования выявляются "дефектные" треугольники с большим значением параметра отношения сторон (в качестве максимально допустимого рекомендуется принимать значение этого параметра, равное 10). С помощью специальных приемов, если это необходимо, проводится сглаживание поверхностей моделируемого зуба (рис. 8).

Программный комплекс Amira 5.2.0 позволяет производить рассечение модели зуба различными плоскостями и выделение отдельных фрагментов, что дает возможность детально изучить внутреннюю структуру зуба в различных проекциях и масштабах (рис. 9, 10).

**ПРИЛОЖЕНИЕ**

Во время подготовки II части данной статьи к печати, в г. Мужене (Франция, Лазурный берег) прошел Европейский салон изобретений и инноваций "МуженИннов", организованный Ассоциацией "Европа-Франция-Изобретатели" (EFI) совместно с мэрией г. Мужена.



Один из авторов статьи — Меликян Карине Меликсетовна — приняла участие в этом проекте. Представленный ею способ устранения дефекта режущего края, глубиной до 2 мм, с применением композитных материалов (патент RU №2331385) был высоко оценен: независимое международное жюри салона наградило К.М.Меликян большой золотой медалью "Леонардо да Винчи" Европейской Академии Наук (рис. 11 а) и дипломом за разработки в области стоматологии (рис. 11 б).

(Продолжение следует.)