

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ компоジットной реставрации режущего края зуба (I класс по Меликяну М.Л.)

(Часть III)

М.Л.Меликян

• д.м.н., профессор, кафедра ГБОУ ДПО КГМА, главный врач ООО "АрмСтом 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 Витта 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.Мартиросян

• 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 "АрмСтом 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 "АрмСтом 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 зуба, 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.

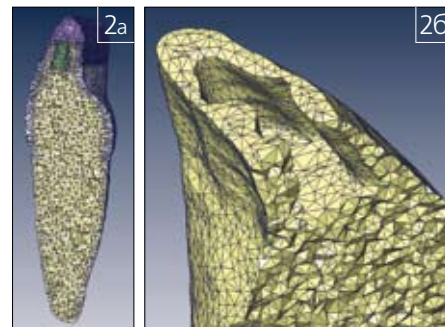
Второй этап: построение конечно-элементной модели

Построенная геометрическая модель экспортируется в среду автоматического строителя конечно-элементной сетки. Все объемы, присутствующие в геометрической модели зуба, автоматически разбиваются на тетраэдрные конечные элементы. Фрагмент конечно-элементного разбиения на тетраэдры представлен на рис. 1.

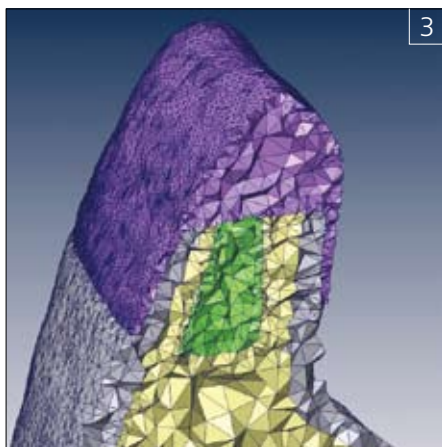
Каждый тетраэдр однозначно задан набором трех координат его четырех вершин. В зависимости от принадлежности к той или иной пространственной области зуба, конечные элементы наделяются соответствующими физико-механическими свойствами. Результатом процесса получения конечно-элементной модели зуба являются:



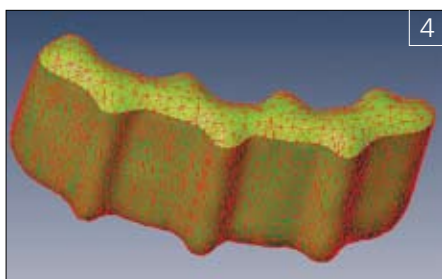
■ Рис. 1. Тетраэдральные конечные элементы (фрагмент)



■ Рис. 2. а) Конечно-элементная модель реставрированного зуба со сформированной ретенционной полостью сложной геометрической конфигурации; б) Ретенционная полость (увеличение)



■Рис. 3. Конечно-элементная модель области препарирования, включающая режущий край реставрированного зуба



■Рис. 4. Конечно-элементная модель ретенционной полости сложной геометрической конфигурации

1. Узловая информация, содержащая список координат вершин тетраэдров, каждой из которой присвоен уникальный порядковый номер.
2. Элементная информация, содержащая список элементов с перечислением порядковых номеров узлов, а также номер материала, соответствующего конечному элементу.
3. Список материалов, содержащий физико-механические свойства для каждого материала, используемого в конечно-элементной модели.

Конечно-элементная модель с требуемой точностью отражает описание геометрии зуба с учетом свойств материалов, из которых он состоит. Построение математической модели, строго индивидуально описывающей геометрию, физико-механические свойства, условия закрепления и нагружения биомеханической системы, описывающей реставрируемый зуб, представляет собой весьма сложный и трудоемкий процесс. По этой причине на этапе математического моделирования значительное внимание было уделено вопросам автоматизации и созданию универсальной методики построения расчетной модели.

На этом этапе можно провести коррекцию, придав зубу более эстетическую и (или) функционально требуемую форму, а также произвести виртуальное препарирование и реставрацию. Конечно-элементная модель реставрированного зуба со сформированной ретенционной полостью сложной геометрической конфигурации представлена на рис. 2.

Важно подчеркнуть, что именно на этом этапе существует возможность вариативного построения поверхностей, разграничивающих

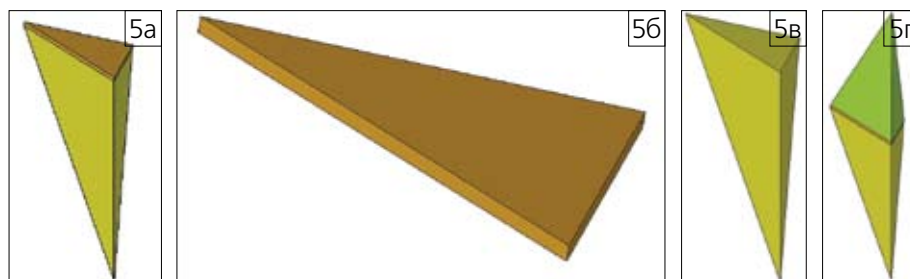
области естественных тканей зуба, будущую область препарирования (рис. 3).

Конечно-элементная модель ретенционной полости сложной геометрической конфигурации, заполненная композитом, представлена на рис. 4.

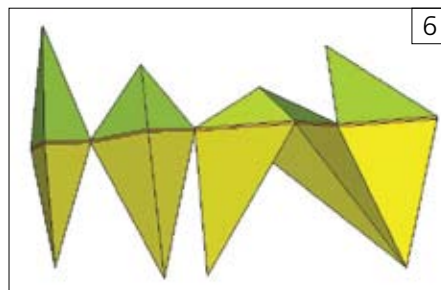
Третий этап: построение конечно-элементной модели адгезивного слоя

При реставрации дефекта режущего края зуба, глубиной до 2 мм, с применением композитного материала, особое внимание уделяется адгезивному слою, который соединяет два разнородных материала с различными физико-механическими свойствами.

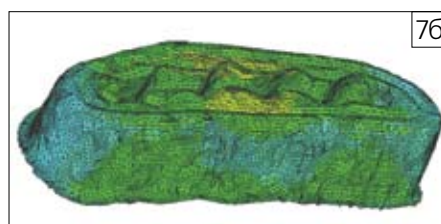
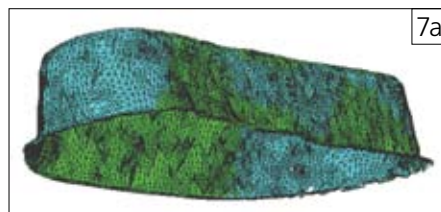
Построение конечно-элементной математической модели адгезивного слоя представляет собой весьма сложный и трудоемкий процесс. Толщина адгезивного слоя составляет сотые доли миллиметра. По этой причине адгезивный слой не может быть построен с использованием описанных выше процедур.



■Рис. 5. Этапы соединения граней тетраэдров композитного материала и твердых тканей зуба при помощи призмы адгезивного слоя: а) тетраэдр композитного материала; б) призма адгезивного слоя; в) соединение тетраэдра твердых тканей зуба с призмой адгезивного слоя; г) соединение граней тетраэдров композитного материала и твердых тканей зуба при помощи призм адгезивного слоя



■Рис. 6. Фрагмент соединения граней тетраэдров композитного материала и твердых тканей зуба при помощи призмы адгезивного слоя



■Рис. 7. Конечно-элементная аппроксимация адгезивного слоя: а) без формирования полости сложной геометрической конфигурации; б) с формированием полости сложной геометрической конфигурации

Вместе с тем роль адгезивного слоя чрезвычайно важна. На этапе математического моделирования значительное внимание было уделено вопросам создания универсальной методики построения расчетной модели для адгезивного слоя. С этой целью была разработана программа GLUMEKER, позволяющая создавать математическую модель адгезивного слоя в автоматическом режиме. Созданные конечные элементы адгезивного слоя автоматически наделялись физико-механическими свойствами, отличными от свойств соединяемых этим слоем материалов. Программа позволяет моделировать адгезивный слой в форме призмы, соединяющих между собой грани тетраэдров композитного материала и твердых тканей зуба. Этапы соединения граней тетраэдров композитного материала и твердых тканей зуба при помощи призм адгезивного слоя представлены на рис. 5. Фрагмент соединения граней тетраэдров

композитного материала и твердых тканей зуба при помощи призм адгезивного слоя представлен на рис. 6.

Разработанная программа GLUMEKER позволяет построить конечно-элементную аппроксимацию адгезивного слоя. Варианты конечно-элементной аппроксимации адгезивного слоя без формирования и с формированием ретенционной полости сложной геометрической конфигурации представлены на рис. 7.

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 зуба, 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. 8 а) и дипломом за работы в области стоматологии (рис. 8 б).

(Продолжение следует.)