

Исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) человеческого коренного зуба

Для решения этой задачи использовался один из ведущих пакетов расчета напряженно-деформированного состояния объекта методом конечных элементов — MSC.Nastran.

При моделировании исследуемого объекта (зуба) был принят ряд допущений:

- влиянием податливости корней пренебрегаем: рассматривалась верхняя часть зуба, ограниченная снизу плоскостью, проходящей через центр пульповой камеры;
- влиянием податливости десны пренебрегаем: основание рассматриваемой модели закреплялось жестко (запрещены как смещения, так и повороты относительно всех осей);
- влиянием податливости контактного материала между пломбой и тканями зуба пренебрегаем: связь между ними осуществляется без всяких дополнительных связующих элементов;
- расчет выполнен в предположении упругой работы материала (даже за физическим пределом текучести);
- анализ деформаций тканей зуба не производился.

Исследование осуществлялось на конечно-элементной (КЭ) модели стандартного слепка первого нижнего зуба (моляра):

- высота $\approx 8,46$ мм;
- ширина $\approx 8,9-12,2$ мм;
- толщина $\approx 13,12$ мм;
- диаметр пульпы ≈ 4 мм.

Численный эксперимент состоял из нескольких этапов: создание трехмерной геометрической модели зуба, а на ее основе — геометрической КЭ-модели, описание внешних

воздействий и граничных условий для КЭ-модели, расчет и анализ полученных результатов.

На первом этапе создавалась компьютерная геометрическая модель зуба, то есть была произведена оцифровка объекта. Процесс подразделялся на несколько шагов: дробление объекта по высоте на слои, съемка геометрии каждого слоя в отдельности, ввод полученной числовой информации в AutoCAD, создание на основе этой информации трехмерной твердотельной модели.

Далее формировалась собственно КЭ-модель — основа для расчета НДС (для этого был использован пространственный элемент типа Solid пирамидальной формы). Модель выполнена с высокой точностью: в ней насчитывается более 50 000 элементов и 10 000 узлов. Учитывались следующие особенности строения зуба: дентин, эмаль, пульпа, вкладка. Первый, второй и четвертый элементы отличаются по физико-механическим свойствам:

- дентин: $E = 14\,700$ МПа, $R_{c,t} = 305$ МПа, $\nu = 0,31$;
- эмаль: $E = 46\,000$ МПа, $R_{c,t} = 261$ МПа, $\nu = 0,31$;
- керамика: $E = 14\,700$ МПа, $R_{c,t} = 305$ МПа, $\nu = 0,31$;

- композит: $E = 6000$ МПа, $R_{c,t} = 305$ МПа, $\nu = 0,3$.

Чтобы выяснить, каким образом различного вида поражения зуба влияют на его НДС, был создан и проанализирован ряд КЭ-моделей, отличающихся глубиной и формой вкладки, а также ее материалом. Рассмотрены следующие расчетные модели:

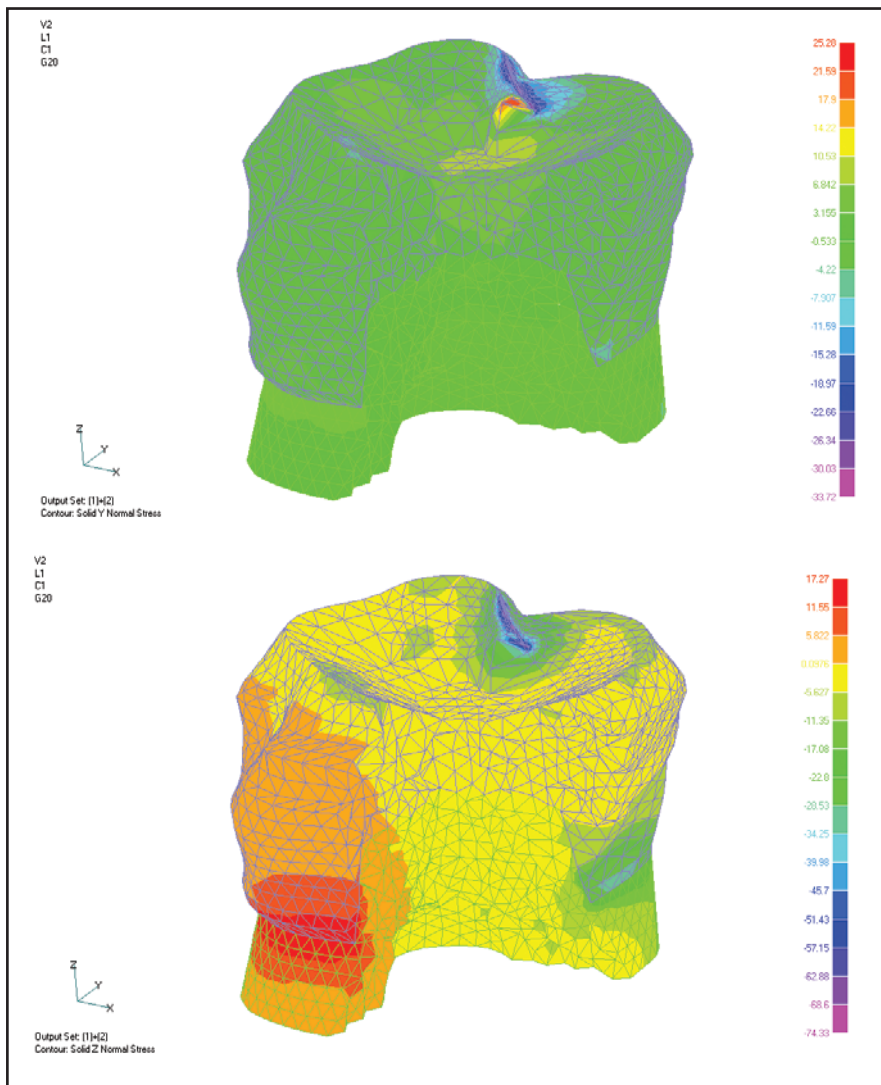
- а) круглая вкладка диаметром 6 мм, что составляет $\approx 0,5$ ширины зуба; глубина не доходит до пульпы около 1,2 мм, глубина принята за единицу глубины вкладки (ГВ);
- б) круглая вкладка, глубина 0,75*ГВ;
- в) круглая вкладка, глубина 0,5*ГВ;
- г) вкладка, покрывающая две поверхности (МО или ОД), глубиной 0,5*ГВ;
- д) вкладка, покрывающая три поверхности (МОД), глубиной 0,5*ГВ.

На основе этих КЭ-моделей созданы два набора, отличающихся типом материала вкладки: композит и керамика.

На третьем этапе к полученным КЭ-моделям были приложены реальные жевательные нагрузки:

1. 25 кг в вертикальном направлении (ось Z).





▲ Рис. 1. НДС здорового зуба; эпюры нормальных напряжений по осям Y и Z, в МПа

2. 10 кг в горизонтальном направлении (ось Y).

Все внешние воздействия прикладывались к окклюзионной (жевательной) поверхности. В силу неравномерности расположения на ней узловых точек неравномерно приложена и нагрузка к модели. Наблюдаются зоны концентраций напряжений в зонах с изменением геометрии. Впрочем, это отражает реальную неравномерность загрузки зуба в процессе жевания.

Кроме указанных расчетов, выполнен расчет на усадку композитной вкладки, покрывающей две поверхности (МО или ОД) с величиной линейной усадки 2% в поперечном направлении.

Для всех расчетов выполнялось построение распределения напряжений в тканях зуба по следующим величинам:

- нормальные напряжения вдоль оси X;
- нормальные напряжения вдоль оси Y;
- нормальные напряжения вдоль оси Z;
- интегральные напряжения по критерию Вон-Мизеса.

Эпюры напряжений построены для всех видов загрузок и всех видов КЭ-моделей.

Анализ НДС модели зуба

Анализ НДС здорового зуба показал, что максимальные интегральные напряжения, рассчитанные по критерию Вон-Мизеса, не превышают 60-80 МПа, что значительно меньше прочности тканей зуба. Эпюры напряжений, приведенные на рис. 1, наглядно демонстрируют хорошую совместную работу тканей зуба. В НДС просматривается тен-

TIPS & TRICKS

AutoCAD. Удаление штриховки

Если системная переменная PICKSTYLE установлена в значение 3 и вы удаляете штриховку, все ассоциированные с этой штриховкой объекты также будут удалены. Чтобы сохранить эти объекты, установите переменную PICKSTYLE в значение 1 перед удалением штриховки.

AutoCAD 2002. BMP-файл с текстурой не может быть найден, если его имя превышает 12 символов

При использовании BMP-файла AutoCAD сокращает его имя до 11 символов и поэтому не может найти на диске файл с более длинным именем. Для файлов с текстурами рекомендуется использовать такие форматы, как JPG, PNG, TGA, TIF, GIF.

AutoCAD. Невозможно переключиться в пространство модели через видовой экран

Если при двойном щелчке внутри видowego экрана он не активизируется и не происходит переключения в пространство модели, установите значение переменной SPACESWITCH в 1.

AutoCAD. В командной строке не отображается текст

Возможна ситуация, когда командная строка присутствует на экране и команды выполняются нормально, но какой-либо текст, поясняющий ход выполнения команд, в командной строке отсутствует.

Скорее всего это связано с тем, что цвет фона командной строки и цвет текста совпадают. Исправить ситуацию можно в диалоге настроек AutoCAD на закладке Экран.

AutoCAD. Отсутствует опция Лист в диалоге настройки печати

Если в диалоговых окнах *Параметры листа* и *Печать* отсутствует опция *Лист* в поле *Печатаемая область*, это значит, что ряд настроечных параметров AutoCAD выключен.

Чтобы исправить ситуацию:

- войдите в диалог *Настройка* на закладку *Экран*;
- в группе *Листы* установите один или оба флажка: *Поля листа* и *Подложить заданный формат*.

AutoCAD. Растровые изображения не печатаются при выводе чертежа через утилиту пакетной печати

Эта проблема может возникнуть, если растровое изображение вставлено в чертеж внешней ссылкой и системная переменная XLOADCTL установлена в значение 3. При этом на месте изображения печатается только его имя.

Для решения проблемы установите системную переменную XLOADCTL в значение 1 или 2.

НОВОСТИ

Autodesk Inventor 6 и Autodesk VIZ 4
получают титул
"Editor's Choice Award"
журнала "CADENCE"



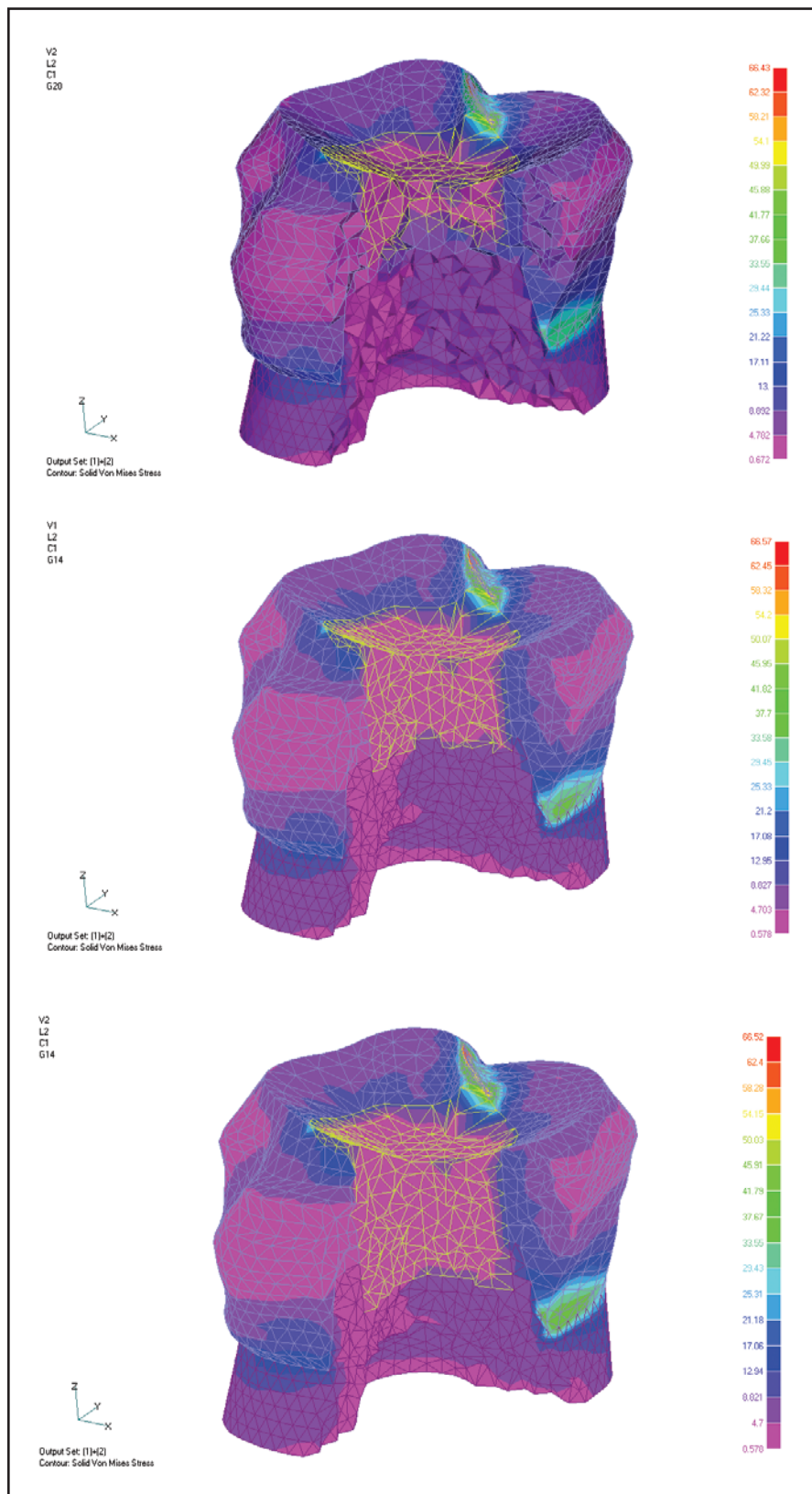
Аналитический журнал "CADENCE Magazine" (США) опубликовал в декабрьском номере очередной обзор решений для САПР. Флагман компании Autodesk в области машиностроения — система трехмерного проектирования Autodesk Inventor — и система визуализации архитектурно-строительных и машиностроительных проектов Autodesk VIZ 4 удостоены высшей оценки журнала: "Editor's Choice Award". Журнал отмечает высочайшие достижения в области инновационных технологий, примененные при разработке этих систем, высокое качество обоих программных продуктов, перспективные направления их развития, а также важную роль, которую они играют в повседневной практике специалистов в области САПР.

Многие возможности, реализованные разработчиками Autodesk Inventor 6, стали ответом на пожелания пользователей. Среди более чем двухсот усовершенствований, касающихся моделирования и оформления чертежей, — средства проектирования трубопроводов и сварных конструкций, соответствующих требованиям предприятий электрохимического и общемашиностроительного профиля. Кроме того Autodesk Inventor 6 включает новое ядро формирования сложной геометрии на базе Autodesk ShapeManager, которое позволяет комбинировать в проекте твердотельную и поверхностную параметрическую геометрию.

Дополняя инструментарий популярной системы трехмерной анимации discreet 3ds max, предназначенный профессиональным проектировщикам, Autodesk VIZ 4 впервые открывает возможность имитационного моделирования освещенности в самой системе визуализации. Это позволяет более точно представлять проект в различных условиях освещенности местности.

Подробнее о программных продуктах Autodesk вы можете узнать на сайтах www.autocad.ru и www.inventor.ru.

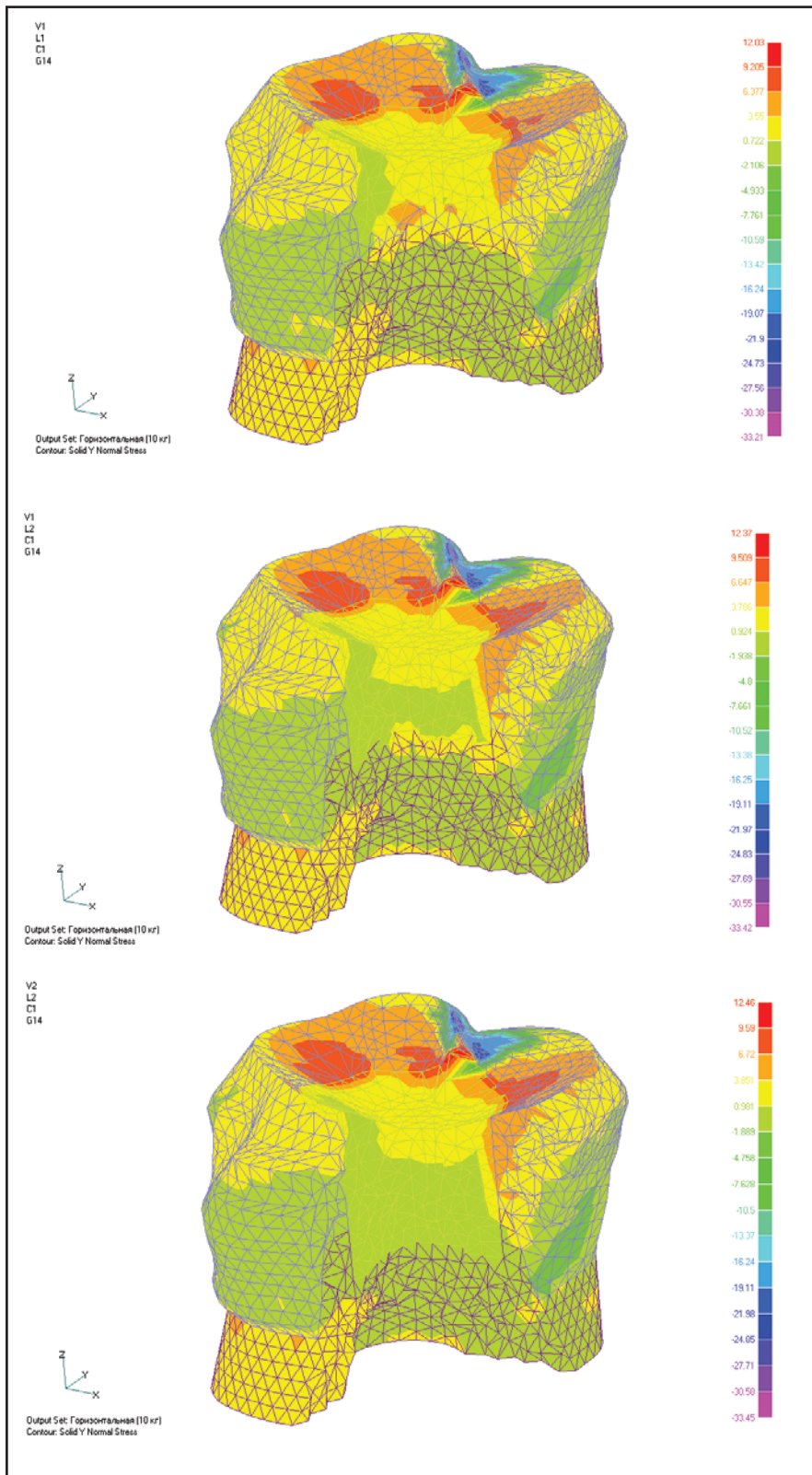
Авторизованный дистрибьютор Autodesk в России и странах СНГ — компания Consistent Software.



♦ Рис. 2. Изменение интегральных напряжений в тканях зуба с керамической вкладкой при ее глубине 0,5, 0,75 и 1 ГВ соответственно (напряжения приведены для суммы двух внешних загрузок)

денция к равномерному распределению напряжений по объему объекта, что отсутствует в НДС моделей зуба с вкладками.

Сравнение НДС моделей зуба, в котором наличествует различной глубины круглая вкладка, показало, что оно (состояние) практически не



♦ Рис. 3. Изменение нормальных напряжений по оси Y в тканях зуба с композитной вкладкой при ее глубине 0,5, 0,75 и 1 ГВ соответственно (напряжения приведены для горизонтального нагружения)

изменяется. Заметна тенденция к небольшому увеличению напряжения в тканях зуба при увеличении глубины вкладки до некоторого порога, а за-

тем — к его уменьшению. Это объясняется тем, что, уменьшая сечение зуба, мы уменьшаем его сопротивляемость внешним воздействиям, а за-

крепление вкладки в массиве недостаточно. При глубине вкладки 1*ГВ наблюдается, как уже сказано, некоторое уменьшение интенсивности напряжений, обусловленное лучшей совместной работой тканей зуба и вкладки. Характерные примеры распределения эпюр приведены на рис. 2 и 3 — для керамических и композитных вкладок соответственно.

Во всех вариантах четко просматривается тенденция менее напряженного состояния вкладки по отношению к тканям зуба. Этот факт объясняется просто: вкладки имеют другие физико-механические показатели — материал, менее жесткий по отношению к окружающим тканям. Соответственно вкладка воспринимает меньшую долю внешней нагрузки. При создании вкладки необходимо помнить, что ее материал является в большей степени формообразующим, а не несущим. Допускать значительное отношение площади вкладки к площади здорового зуба не следует.

Увеличение вкладки в горизонтальном направлении (МО, ОД и МОД) значительно перераспределяет напряжения в тканях зуба и вкладке: наблюдается увеличение интенсивности напряжений в зубе.

Материал вкладки не оказывает существенного влияния на НДС модели зуба: напряжения в керамической вкладке и тканях зуба ненамного (на несколько процентов) ниже, чем в случае композитной вкладки. Отметим еще, что напряжения во вкладке меньше, чем в окружающих тканях зуба, — этот факт уже отмечался выше. Максимальные напряжения составляют порядка 81 МПа, что меньше предельно допустимых величин. Характерные эпюры для указанных моделей приведены на рис. 4.

При анализе НДС модели зуба с вкладкой типа МОД были выявлены следующие закономерности:

1. Напряжения в модели с композитной вкладкой несколько больше, чем в модели с керамической: 13,79 против 11,79 МПа.
2. Распределение напряжений почти одинаково, зоны с концентрациями напряжений практически отсутствуют.
3. Напряжения в тканях зуба и во вкладке не превышают соответ-

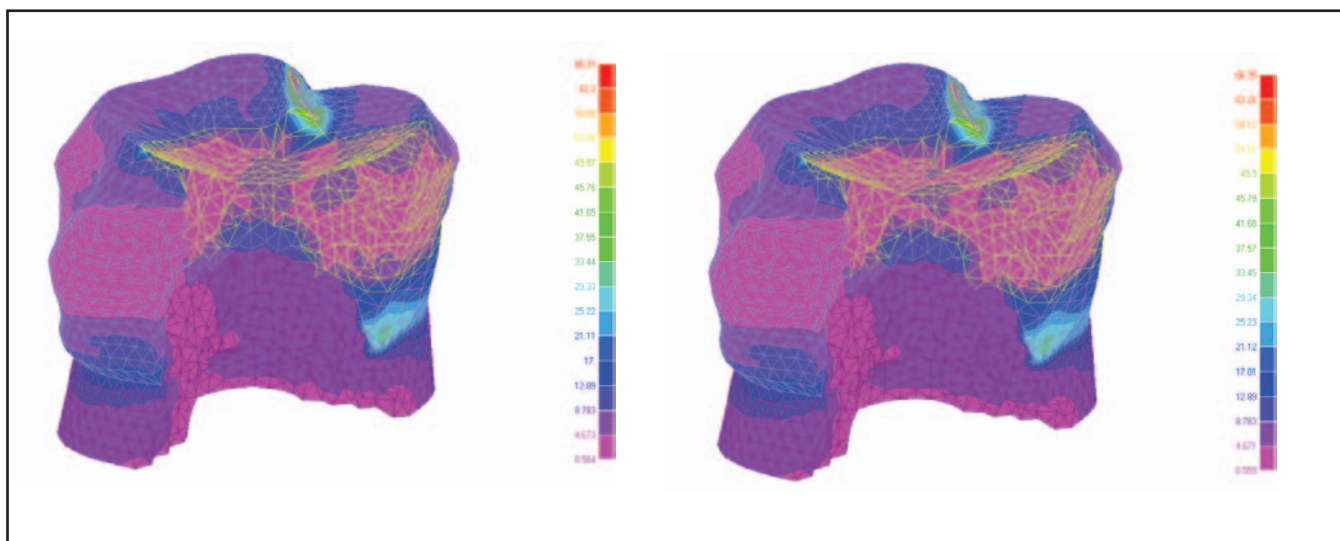


Рис. 4. Изменение интегральных напряжений в тканях зуба с вкладкой типа МО, ОД – керамической и композитной соответственно (напряжения приведены для суммы двух загрузок)

вующих предельно допустимых значений: 81 МПа против 261 (305) МПа.

Характерные эпюры напряжений приведены на рис. 5.

Для всех моделей нужно отметить еще одну особенность: в зоне контакта двух различных материалов (дентин и эмаль) наблюдаются яркие зоны концентраций напряжений, что можно увидеть на всех приведенных эпюрах. Явление это вполне закономерно: в таких местах наблюдается резкое, в несколько раз, изменение модуля Юнга. При создании вкладки ее не следует вводить к таким зонам!

Анализ расчетов позволил сделать следующие выводы:

- напряженное состояние здорового зуба (в сравнении с пломбированным) отличается меньшим уровнем напряжений в тканях, равномерным распределением напряжений по его высоте и глубине;
- вкладка оказывает значительное влияние на НДС зуба, ткани зуба становятся более нагруженными, тогда как уровень напряжений во вкладке ниже, чем в окружающих ее тканях; они равномерно изменяются по объему;
- существенных отличий в НДС зубов с вкладками из разных ма-

териалов (керамика и композит) не выявлено;

- наличие *усадочных явлений* в композитных вкладках придает зубу большие дополнительные напряжения. Так, при линейной усадке 2% и ширине вкладки 0,58 от ширины зуба (в нашем конкретном случае 6,96 и $\approx 11,97$ мм соответственно) напряжения в тканях зуба превышают предельно допустимые в десятки раз, что в реальных условиях приведет к разрушению пломбы и зуба!

Ю. И. Лагун
Белорусский национальный
технический университет
E-mail: ULagun@sf.unibel.by

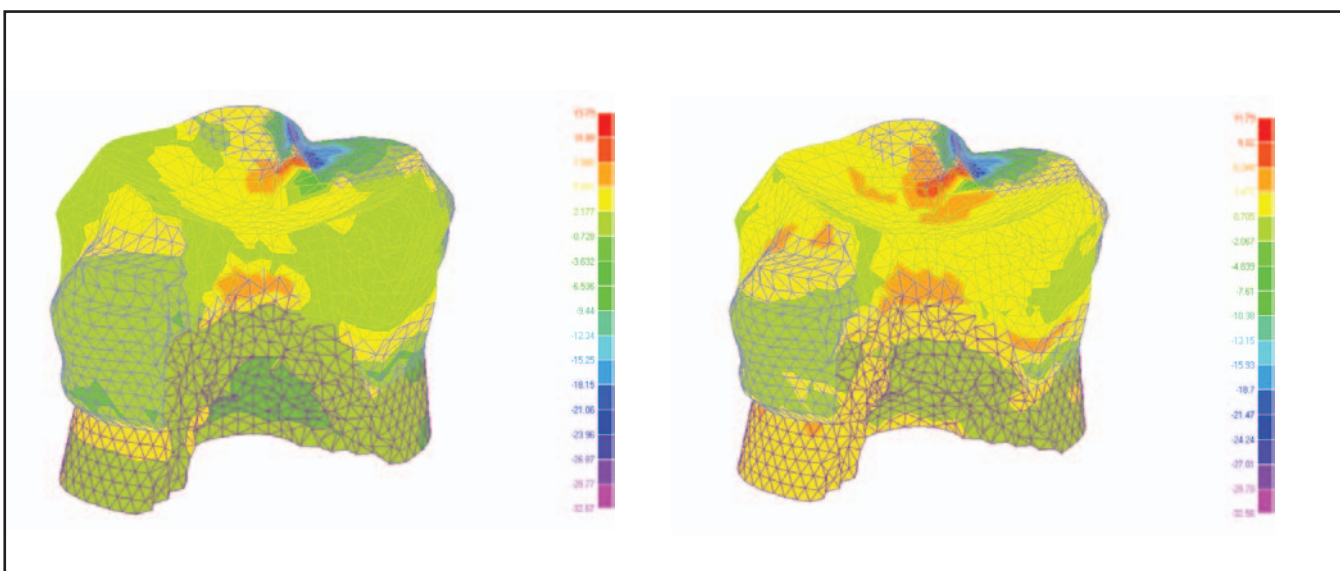


Рис. 5. Изменение нормальных напряжений по оси Y в тканях зуба с вкладкой типа МОД – композитной и керамической соответственно (напряжения приведены для суммы двух загрузок)

osé TDS –

новые репрографические комплексы

TDS400,
TDS600, TDS800



**печать,
копирование,
сканирование.....**

TDS – новейшая серия цифровых репрографических комплексов для технического документооборота

- МУЛЬТИЗАДАЧНАЯ система с возможностью параллельного выполнения процессов печати, сканирования или копирования
- Формат документов A0
- Производительность печати от 2 до 10 A0/мин.
- Печать и сканирование по сети и через Internet
- Улучшенная порционная подача тонера
- Масштабирование 25-400%
- Поддержка Adobe® PostScript®3™/PDF
- Дополнительный набор финишных устройств: фальцовщики, сортировщики, ленточные узлы, дыроколы

Consistent Software®

МОСКВА, 105066, Токмаков пер., 11.
Тел.: 913-2222, факс: 913-2221
E-mail: sales@csoft.ru
Internet: <http://www.csoft.ru>

ОТДЕЛЕНИЯ CONSISTENT SOFTWARE Санкт-Петербург, тел.: (812) 430-3434, факс: (812) 430-9056 E-mail: sales@csoft.spb.ru Internet: <http://www.csoft.spb.ru> Калининград, тел./факс: (0112) 22-8321 E-mail: kstrade@online.ru Internet: <http://www.cstrade.ru> Ярославль, тел./факс: (0852) 56-4058, 57-4710 E-mail: csoft@yarslavl.ru Internet: <http://www.csoft.yarslavl.ru> Нижний Новгород, тел.: (8312) 16-2198, 77-9691 E-mail: sales@csoft.nnov.ru Internet: <http://www.csoft.nnov.ru> Екатеринбург, тел./факс: (3432) 75-6505 E-mail: mig@mail.ur.ru Уфа, тел.: (3472) 28-9212, 53-9785 E-mail: info@albear.ru Internet: <http://www.albear.ru> Тюмень, тел.: (3452) 25-2397 E-mail: csoft@tyumen.ru Омск, тел.: (3812) 51-0925, 44-2174 E-mail: magma@mcad.ru Internet: <http://www.mcad.ru> Новосибирск, тел.: (3832) 27-1619, 27-1436 E-mail: welcome@westpro.ru Internet: <http://www.westpro.ru> Воронеж, тел./факс: (0732) 39-3050 E-mail: cad@csoft.vrn.ru Минск, тел.: (10-37517) 210-0391 E-mail: rekolte@belsonet.net Киев, тел.: (10-38044) 257-1039, факс: (10-38044) 257-1049 E-mail: common@arcada.com.ua Internet: <http://www.arcada.com.ua> Алматы, тел.: (3272) 93-4270, факс: (3272) 49-4897 E-mail: logics@online.ru

СИСТЕМНЫЕ ЦЕНТРЫ CONSISTENT SOFTWARE Киев, АО "Аркада", тел.: (10-38044) 257-1039, факс: (10-38044) 257-1049 E-mail: common@arcada.com.ua Internet: <http://www.arcada.com.ua> Санкт-Петербург, НИИ-Информатика, тел.: (812) 118-6211 E-mail: info@nipinfor.spb.ru Internet: <http://www.nipinfor.spb.ru> Красноярск, MaxSoft, тел./факс: (3912) 65-1385 E-mail: sales@maxsoft.ru Internet: <http://www.maxsoft.ru> Москва, АвтоГраф, тел./факс: (095) 726-5466 E-mail: root@autograph.ru Internet: <http://www.autograph.ru> Москва, Steepler Graphics Center, тел.: (095) 958-0314 E-mail: training@steepler.ru Internet: <http://www.steepler.ru>