

Тюкова Е.А.¹, Пархамович С.Н.¹, Лапатухин Е.А.¹, Столярова Т.А.²
**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ШТИФТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ СТЕКЛОВОЛОКНА**

¹«Белорусский государственный медицинский университет», г. Минск

²УЗ «Могилёвская стоматологическая поликлиника №2», г. Могилев

В настоящее время большое распространение получил метод восстановления коронковой части зуба с использованием внутриканальных стекловолоконных штифтов, модуль эластичности которых приближен к аналогичному показателю дентина корня зуба. Но несмотря на большое количество положительных качеств, штифтовые конструкции не лишены недостатков. Функционирование зуба в полости рта сопряжено с постоянным воздействием на него динамических нагрузок, в связи с этим на результаты реабилитации пациентов с дефектом коронки зуба после его эндодонтического лечения влияет способ подготовки корневого канала и оставшейся культи зуба. Значительно расширяет современные возможности в моделировании процессов, происходящих в организме человека, использование современных

компьютерных технологий, в том числе и применительно к стоматологии. Уровень современной электронно-вычислительной техники позволяет в настоящее время провести компьютерное моделирование напряжённо-деформированного состояния элементов зубочелюстной системы и отдельных её компонентов.

Предварительное математическое моделирование и анализ напряжённо-деформированных состояний позволяет проанализировать различные способы восстановления твёрдых тканей зубов при помощи штифтовых конструкций и выбрать наиболее рациональный вариант.

Цель работы: изучить научную литературу по вопросам построения математических моделей и определения напряжённо-деформированных состояний в твёрдых тканях зуба; разработать трёхмерную математическую модель системы «стекловолоконная штифтовая конструкция – преформованный композит-фиксирующий цемент- твёрдые ткани зуба», провести сравнительную оценку напряжённо- деформированного состояния в системе «стекловолоконная штифтовая конструкция – преформованный композит- фиксирующий цемент – твёрдые ткани зуба» при использовании цилиндрических стекловолоконных штифтов с объёмной головкой, цилиндрических стекловолоконных штифтов с объёмной головкой и с дробителем нагрузки (фрагмент ленты для шинирования, расположенный перпендикулярно по отношению к стекловолоконному штифту), цилиндрических стекловолоконных штифтов, цилиндрических стекловолоконных штифтов с дробителем нагрузки, цилиндрических стекловолоконных штифтов с объёмной головкой, композитно-армированной культевой штифтовой вкладки.

Материалы и методы. Проанализировали отечественную и зарубежную литературу, посвящённую вопросам математического моделирования. С целью определения напряжённо-деформированного состояния сложных по форме геометрических объектов подходит метод конечных элементов.

Аболмасов Н.Н., Аболмасов Е.В., Массарский И.Г., Массарская Н.Г. проводили прочностный анализ системы «депульпированный зуб-штифтовая культевая вкладка-литая коронка» в зависимости от степени разрушения коронковой части и варианта препарирования пришеечной части культи зуба. Рубникович С.П., Фисюнов А.Д., Шукевич Я.И. проводили биомеханическую оценку эффективности использования предложенной ими композитно-армированной культевой штифтовой вкладки методом конечных элементов на разработанной трёхмерной математической модели при разнонаправленных нагрузках. С.А. Наумович, С.С. Наумович рассчитывали на модели корня зуба в виде эллиптического гиперboloида напряжения в периодонтальной связке опорных зубов в мостовидном протезе при изменении углов наклона зубов в мезиодистальном и вестибулооральном направлениях. Полховский Д.М. разработал трёхмерную математическую модель системы «зуб-фиксирующий материал-керамическая искусственная коронка». Проводил анализ её напряжённо-деформированного состояния с учётом вида и толщины слоя фиксирующего материала, физико-механических свойств её структурных компонентов и условий функциональной нагрузки. Крихели Н.И., Бычкова М.Н., Залесская Т.И., Никитин А.Д. проводили оценку напряжённо-деформированного состояния твёрдых тканей зуба при функциональной нагрузке методом конечных элементов с целью обоснования необходимости восстановления пришеечных некариозных абфракционных дефектов композитными материалами светового отверждения. Чиликин В.Н., Гаврюшин С.С. использовали метод математического моделирования при выборе рационального способа устранения дефектов передней группы зубов с помощью виниров. Меликян М.Л., Гаврюшин С.С., Меликян К.М., Меликян Г.М. проводили анализ напряжений в армированной и неармированной композитной реставрации после устранения косых дефектов (III класс по М.Л. Меликяну). Они установили, что правильное проекционное положение металлической армирующей сетки при композитной реставрации зубов помимо снижения общего уровня напряжений в области адгезии, препятствует росту микротрещин в композитном материале и существенно снижает риск возникновения таких осложнений, как

сколы и отколы армированной композитной реставрации. Кульманбетов Р.И., Алтынбеков К.Д. провели исследование напряжённого состояния конструкции штифтового зуба, отличительной особенностью которой являлось то, что штифт и коронка отлиты монолитно, как одна деталь. Воложин А.И., Чумаченко Е.Н., Бабер Г.М., Ведеев А.И. проводили математическое моделирование и расчёт напряжённо-деформированного состояния зубочелюстного сегмента после депульпирования зуба. Арутюнов С.Д., Чумаченко Е.Н., Лебеденко И.Ю., Арутюнов А.С. проводили сравнительный анализ результатов математического моделирования напряжённо-деформированного состояния различных конструкций штифтовых зубных протезов. Крушинина Т.В. изучала напряжённо-деформированные состояния элементов системы «искусственная коронка – композитная культя зуба – стандартный штифт – корень зуба» в зависимости от материала штифта, диаметра штифта, глубины погружения штифта и толщины стенки зуба в пришеечной области.

С целью изучения распределения механических напряжений нами были разработаны шесть групп математических моделей. В первой группе изучались напряжённо-деформированные состояния в системе «стекловолоконная штифтовая конструкция – преформованный композит- фиксирующий цемент- твёрдые ткани зуба» при восстановлении дефекта коронки зуба верхнего клыка с использованием цилиндрических стекловолоконных штифтов с объёмной головкой, во второй группе изучались напряжённо-деформированные состояния в системе «стекловолоконная штифтовая конструкция – преформованный композит- фиксирующий цемент- твёрдые ткани зуба» при восстановлении дефекта коронки зуба с использованием цилиндрических стекловолоконных штифтов (СВШ) с объёмной головкой и с дробителем нагрузки, в третьей группе – с использованием цилиндроконических СВШ, в четвёртой группе – с использованием цилиндроконических СВШ с дробителем нагрузки, в пятой группе – с использованием цилиндроконических СВШ с объёмной головкой, в шестой группе – с использованием композитно-армированной культевой штифтовой вкладки.

Результаты исследования и их обсуждение. Для построения математической модели нами был выбран удалённый верхний клык, после проведённого эндодонтического лечения корневой канал был подготовлен под штифтовую конструкцию, затем была выполнена конусно-лучевая компьютерная томография. КЛКТ в её стандартном применении является наиболее рациональным методом, когда свойства мягких тканей и кости определяются посредством условных рентгенологических показателей, чисел HU. Точность получаемых результатов при моделировании, их приближённость к конкретному пациенту зависит от точности задания основных механических характеристик, включая модуль упругости и предел прочности.

В ходе построения математической модели КЛКТ верхнего клыка человека импортировалась в специализированный математический пакет обработки томографических изображений. Трёхмерная модель создавалась из верхнего и нижнего пороговых значений цветовой маски, согласованной с единицами Хаунсфилда, которые в свою очередь связаны с оттенками серого на КЛКТ.

Изучали НДС в системе «стекловолоконный штифт – преформованный композит- фиксирующий цемент- твёрдые ткани зуба» при нагрузках в вертикальном направлении, параллельно продольной оси зуба; под углом 45 градусов к продольной оси зуба с нёбной поверхности в точке окклюзионного контакта с зубами антагонистами и в горизонтальном направлении, перпендикулярно продольной оси зуба. Нагрузка во всех группах математических моделей была 150 Н. Модель жестко зафиксирована в области сечения кортикальной костной ткани.

Эквивалентные напряжения измерялись в штифтах, преформованном композите, фиксирующем цементе, корне зуба, в периодонте.

На рисунке 1 показано в качестве примера распределение эквивалентных напряжений в корне зуба при восстановлении дефекта коронки зуба различными штифтовыми конструкциями при нагрузке в горизонтальном направлении.

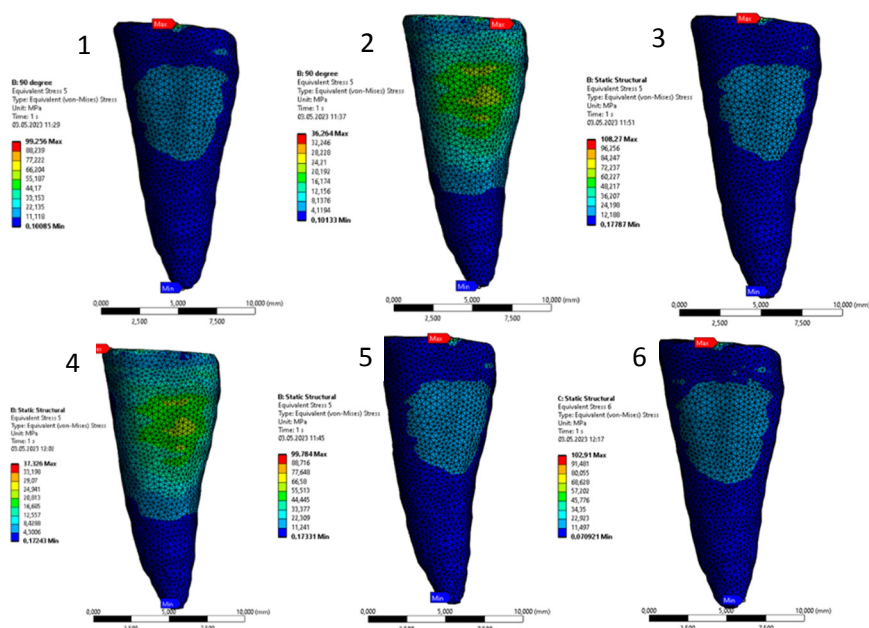


Рисунок 1. Распределение эквивалентных напряжений (МПа) в корне зуба при горизонтальной нагрузке: 1- цилиндрический с объёмной головкой; 2- цилиндрический с объёмной головкой и с дробителем нагрузки; 3- цилиндрикоконический; 4- цилиндрикоконический с дробителем нагрузки; 5- цилиндрикоконический с объёмной головкой; 6-композиционно-армированной культевой штифтовой вкладке.

На рисунке 2 показано распределение эквивалентных напряжений в различных штифтовых конструкциях при нагрузке под углом 45 градусов к продольной оси.

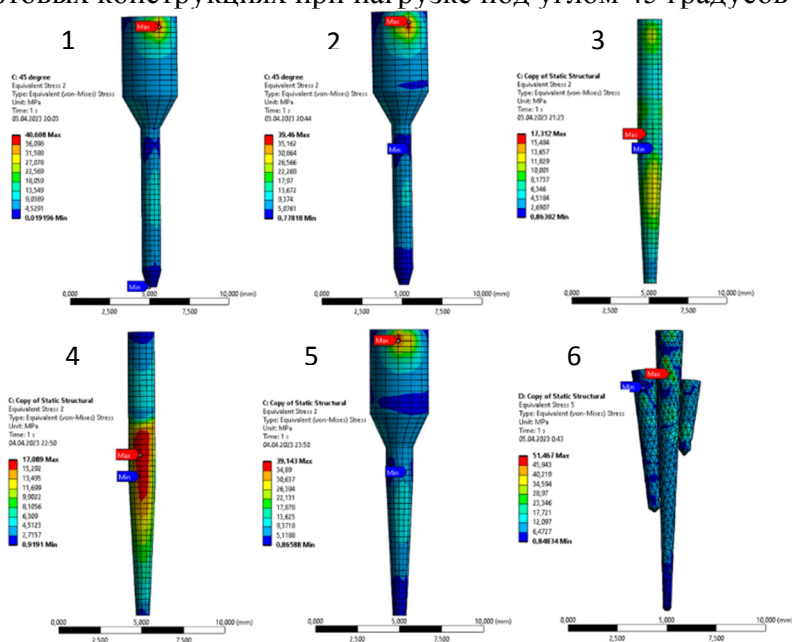


Рисунок 2. Распределение эквивалентных напряжений (МПа) в штифтах при нагрузке под углом 45 градусов к продольной оси: 1- цилиндрический с объёмной головкой; 2- цилиндрический с объёмной головкой и с дробителем нагрузки; 3- цилиндрикоконический; 4- цилиндрикоконический с дробителем нагрузки; 5- цилиндрикоконический с объёмной головкой; 6-композиционно-армированной культевой штифтовой вкладке

Выводы.

1. Проанализировав напряжённно-деформированные состояния системы «стекловолоконная штифтовая конструкция -преформованный композит- фиксирующий

цемент- твёрдые ткани зуба» стало очевидно, что распределение эквивалентных напряжений существенно отличается в различных составляющих математической модели.

2. При применение штифтовой стекловолоконной опоры с дробителем нагрузки для лечения полного дефекта коронки зуба происходит снижение эквивалентных напряжений в штифтовых конструкциях на 67,5% при нагрузке под углом 45 градусов к продольной оси зуба, на 57% при вертикальной нагрузке по сравнению с композитно-армированной культевой штифтовой вкладкой и на 70% при горизонтальной нагрузке по сравнению с цилиндроконическим штифтом с объёмной головкой.

3. При действии горизонтальной нагрузки минимальные напряжения регистрируются в корне зуба при применении цилиндрических штифтов с объёмной головкой и дробителем нагрузки и составляют 36,264МПа, что на 63% меньше, чем при применении цилиндрических штифтов с объёмной головкой без дробителя нагрузки. Напряжения при применении цилиндроконических штифтов с дробителем нагрузки составляют 37,326МПа, что на 65,5% ниже, чем при применении цилиндроконических штифтов без дробителя нагрузки.

4. При применение штифтовой стекловолоконной опоры с дробителем нагрузки для лечения полного дефекта коронки зуба происходит снижение эквивалентных напряжений в фиксирующем цементе при нагрузке под углом 45 градусов в 1,8 раза, при вертикальной нагрузке в 2,2 раза по сравнению с известными аналогами.

5. Под действием горизонтальной нагрузки минимальные напряжения, возникающие в преформованном композите равны 18,331МПа при восстановлении зуба с помощью цилиндроконического штифта с дробителем нагрузки, что на 23,3% ниже, чем при применении цилиндроконических штифтов.

6. Таким образом, более низкие значения эквивалентных напряжений и более равномерное их распределение соответствуют более прочной конструкции.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Министерство здравоохранения Белгородской области
ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный
исследовательский университет»
Стоматологическая Ассоциация России
Белгородская региональная общественная организация
«Стоматологическая ассоциация»

СТОМАТОЛОГИЯ СЛАВЯНСКИХ ГОСУДАРСТВ

Сборник трудов
XVI Международной научно-практической конференции,
приуроченной к 75-летию Заслуженного врача Российской Федерации,
доктора медицинских наук, профессора А.В. Цимбалистова



Белгород 2023