

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 616.314.11-089.28-14-06: 615.464: 621.914.04

ПОЛХОВСКИЙ
Дмитрий Михайлович

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-КЛИНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ПРИМЕНЕНИЯ ЦЕЛЬНОКЕРАМИЧЕСКИХ КОРОНОК,
ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ
КОМПЬЮТЕРНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

по специальности 14.01.14 – стоматология

Минск 2013

Работа выполнена в УО «Белорусский государственный медицинский университет».

Научный руководитель: **Наумович Семен Антонович**, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой ортопедической стоматологии УО «Белорусский государственный медицинский университет»

Официальные оппоненты: **Терехова Тамара Николаевна**, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой стоматологии детского возраста УО «Белорусский государственный медицинский университет»

Луцкая Ирина Константиновна, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой терапевтической стоматологии ГУО «Белорусская медицинская академия последипломного образования»

Оппонирующая организация: УО «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет»

Защита состоится 11 июня 2013 года в 13.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 03.18.05 при УО «Белорусский государственный медицинский университет» по адресу: 220116, г. Минск, пр-т Дзержинского, 83, e-mail: rector@bsmu.by (тел. 272-55-98).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке УО «Белорусский государственный медицинский университет».

Автореферат разослан «___» _____ 2013 года.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций,
доктор медицинских наук, доцент



А. С. Ластовка

SUMMARY

Polkhovsky Dmitry Mihaylovich

Experimental and clinical substantiation application of all-ceramic dental crowns, produced by method of computer-aided milling

Keywords: mathematical modeling, optical holography, stress condition, ceramics, composite, adhesion, dental crown, automatics, fixation.

Purpose of research: experimental and clinical substantiation application of Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing of all-ceramic dental crowns for improvement of orthopedic treatment's quality.

Methods: experimental, clinical and statistical.

Scientific novelty of research. For the first time three-dimensional mathematical models representing a maxillary second premolar, restored by all-ceramic dental crown, were constructed. Were study two variants of thickness of luting material. Dependence of the maximal value of stresses and deformations of elements of models on a thickness of luting material has been displayed. On the basis of experimental holographic researches were established, that using of milling ceramic dental crowns in a combination to their adhesive fixation ensures the durability of comparable to durability of natural teeth. In clinical researches were study that using of computer-aided milling for produce all-ceramic dental crown increase of orthopedic treatment's quality.

Recommendations about use: it is recommended for wide use at orthopedic treatment of destroyed teeth.

Range of application: prosthodontics.

ВВЕДЕНИЕ

Дефекты коронок зубов различного происхождения – наиболее ранняя и распространенная форма поражения зубочелюстной системы. Разрушение коронковой части даже одного зуба или ошибки при ее восстановлении могут стать отправной точкой для целого ряда морфологических и функциональных изменений челюстно-лицевого аппарата человека [И.Ю. Лебедеко, 1999; С.А. Наумович, 2006]. Дефекты анатомической формы зубов приводят к нарушению функций откусывания и пережевывания пищи, страдает эстетика пациента. Увеличивается риск механической травмы десневого края пищевым комком, ухудшается гигиена полости рта и создаются условия для развития заболеваний периодонта [Н.Г. Аболмасов, 2000]. Своевременное восстановление утраченной формы и функций зуба с помощью разнообразных методов позволяет предотвратить все эти негативные последствия [С.М. Ремизов, 2001; G. Christensen, 2003].

В ортопедической стоматологии для восстановления разрушенной коронковой части зуба наиболее часто применяются полные искусственные коронки [Н.Г. Аболмасов, 2000]. Они позволяют в полном объеме восстановить утраченную анатомическую форму и функции разрушенных зубов в случаях, когда применение пломб и микропротезов (вкладок, накладок, виниров) уже не оправдано. Восстановление разрушенных зубов металлокерамическими коронками – один из самых современных видов ортопедического лечения. Однако металлокерамика имеет и ряд недостатков, обусловленных наличием металлического каркаса [В.Н. Трезубов, С.Д. Арутюнов, 2003; К. Leinfelder, 2000; M. Ozcan, 2003]. К основным недостаткам стоматологических сплавов можно отнести: высокую теплопроводность; возможные аллергические реакции; высокую энергоемкость процесса литья; темный цвет, просвечивающийся через ткани десны и керамическое покрытие [А.Н. Ряховский, 2000; Е.Е. Дьяконенко, 2002; Б. Туати, 2004; С.А. Наумович, 2006; S. De Rossi, 1998; С. Hamann, 2005; F. Spear, 2008].

Применение керамических зубных коронок позволяет избежать большинства проблем, связанных с наличием металлического каркаса. Существует несколько способов изготовления керамических коронок. Наиболее современным из них является технология автоматизированного проектирования и изготовления зубных протезов с использованием вычислительной техники (технология CAD/CAM, от англ. Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing) [И.Ю. Лебедеко, 2002; M. Kern, 2003; G. Christensen, 2008; J. Kelly, 2008]. У врача появляется возможность

восстановить разрушенный зуб керамической коронкой в течение одного посещения пациента. С помощью технологии CAD/CAM можно изготовить искусственные коронки не только из различных видов стоматологической керамики, но и сплавов металлов, различных композитов и пластмасс. Керамические заготовки, серийно изготовленные в промышленных условиях, обладают высокой степенью однородности и стабильностью химического состава. Благодаря автоматизации производственного процесса уменьшается негативное влияние «человеческого фактора» на некоторые технологические этапы и возрастает точность изготовления протезов [С.М. Вафин, 2005; F. Duret, 1992; I. Yeo, 2003; W. Mormann, 2004; A. Bindl, 2005; M. Okutan, 2006].

Проведенный анализ отечественной и зарубежной литературы показывает необходимость в более тщательном изучении технологии применения керамических коронок, изготовленных методом компьютерного фрезерования. Недостаточно изучены биомеханические взаимоотношения между керамической коронкой, фиксирующим материалом и твердыми тканями зуба.

В данной работе мы планируем научно обосновать применение и изучить особенности использования керамических коронок, изготовленных методом компьютерного фрезерования на аппарате CEREC 3 (Sirona Dental, Германия), для восстановления анатомической формы и функции разрушенных зубов в клинике ортопедической стоматологии.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами. Работа выполнена по заданиям тем научно-исследовательской работы кафедры ортопедической стоматологии УО «Белорусский государственный медицинский университет»:

1. Биомеханические аспекты в клинике ортопедической стоматологии и ортодонтии, номер государственной регистрации 20032939 от 02.10.2003 г.;
2. Планирование и конструирование зубных протезов и ортодонтических аппаратов с применением математических и голографических методов исследования, номер государственной регистрации 20090410 от 26.03.2009 г.

Тема диссертации соответствует одной из приоритетных задач современной стоматологии – восстановлению зубов с помощью искусственных коронок. Изучаемый метод изготовления керамических коронок является современным, активно внедряемым в лечебную практику. Изучение особенностей автоматизированной технологии

изготовления керамических коронок позволит обоснованно и эффективно применять её для оказания стоматологической помощи населению.

Цель исследования: повышение качества ортопедического лечения пациентов с дефектами твердых тканей зубов с использованием цельнокерамических искусственных коронок, изготовленных методом компьютерного фрезерования.

Задачи исследования:

1. Разработать трехмерную математическую модель системы «зуб – фиксирующий материал – керамическая искусственная коронка». Провести анализ ее напряженно-деформированного состояния с учетом вида и толщины слоя фиксирующего материала, физико-механических свойств её структурных компонентов и условий функциональной нагрузки.

2. Изучить с помощью метода голографической интерферометрии напряженно-деформированное состояние зуба, восстановленного керамической короной, изготовленной с применением CAD/CAM технологии.

3. Провести сравнительную оценку применения металлокерамических и цельнокерамических искусственных коронок, изготовленных методом компьютерного фрезерования, для восстановления формы и функции разрушенных зубов в клинических условиях.

4. Разработать практические рекомендации по применению цельнокерамических коронок, изготовленных методом компьютерного фрезерования для повышения качества ортопедического лечения пациентов с дефектами твердых тканей зубов.

Объект исследования. Объектом математического моделирования послужили 5 трехмерных твердотельных математических моделей, отображающих строение коронковой части естественного интактного зуба, а также зубов, восстановленных цельнокерамическими коронками с различной толщиной слоя фиксирующего материала. Объектом голографических исследований послужили 9 удаленных зубов верхней челюсти. Объектом клинических исследований послужили результаты лечения 62 пациентов в возрасте от 19 до 57 лет с дефектами твердых тканей зубов, обратившихся на кафедру ортопедической стоматологии Белорусского государственного медицинского университета и в Республиканскую клиническую стоматологическую поликлинику, которым проводилось восстановление разрушенных зубов с помощью искусственных коронок.

Предмет исследования: напряженно-деформированное состояние зубов, восстановленных цельнокерамическими коронками, которые были изготовлены по CAD/CAM технологии.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Адгезивная техника фиксации фрезерованных цельнокерамических коронок с помощью композиционного материала обеспечивает восстановленным зубам оптимальную биомеханическую целостность при толщине слоя фиксирующего материала 50 мкм, что может быть доказано с помощью метода математического моделирования.

2. Восстановление зубов с помощью фрезерованных цельнокерамических коронок, для фиксации которых использовался композиционный материал, обеспечивает им сходство напряженно-деформированных состояний с интактными зубами, что может быть доказано с помощью метода голографической интерферометрии.

3. Использование цельнокерамических коронок, изготовленных с помощью технологии автоматизированного проектирования и производства, является более эффективным методом ортопедического лечения, чем использование металлокерамических коронок, поскольку сокращает сроки лечения пациентов с дефектами твердых тканей зубов до одного дня.

4. Внедрение в практику метода компьютерного фрезерования для изготовления цельнокерамических коронок повышает качество ортопедического лечения пациентов с дефектами твердых тканей зубов и уменьшает затраты трудовых и материальных ресурсов.

Личный вклад соискателя. Цель и задачи исследования сформулированы соискателем совместно с научным руководителем. Личное участие автора в выполнении диссертационной работы состояло в обзоре литературных данных по изучаемой проблеме, а также планировании, осуществлении и анализе всех экспериментальных и клинических этапов исследования.

Планирование и подготовку исследований напряженно-деформированного состояния зубов с использованием трехмерного твердотельного моделирования и математического анализа методом конечных элементов осуществляли при консультативной помощи канд. техн. наук О.В. Леоненко и канд. техн. наук М.Э. Подымако (ГУВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев). Автором самостоятельно разработана методика изучения геометрических параметров зуба с помощью аппарата CEREC 3. Построение объемных математических моделей и анализ их напряженно-деформированных состояний методом конечных элементов осуществляли при участии инженера-конструктора А.С. Демура. Автор принимал непосредственное участие в проведении всех этапов вычислительного эксперимента.

Все этапы экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния зубов методом голографической

интерферометрии осуществлялись с непосредственным участием автора при участии и консультативной помощи канд. техн. наук Ф.Г. Дрика.

Непосредственно автором разработана карта обследования пациентов. Обследовано, проведено ортопедическое лечение и динамическое наблюдение за 62 пациентами с дефектами твердых тканей зубов из числа обратившихся на кафедру ортопедической стоматологии Белорусского государственного медицинского университета и в Республиканскую клиническую стоматологическую поликлинику. Изучены результаты лечения пациентов со сроком наблюдения два года.

Обобщение материалов, включенных в диссертацию, их анализ, статистическая обработка, систематизация и интерпретация, подготовка иллюстраций, написание всех разделов и глав, формулировка выводов и практических рекомендаций выполнены автором лично.

Разработана и утверждена Министерством здравоохранения Республики Беларусь инструкция по применению «Методика восстановления коронковой части зуба цельнокерамической коронкой, изготовленной по технологии компьютерного фрезерования» (регистрационный № 038–0410 от 06.05.2010 г.) [14] – личный вклад 90%. Вклад соискателя в другие совместные публикации результатов диссертационной работы [1, 4, 7, 13] составил 85%.

Апробация результатов диссертации. Результаты исследований, включенных в диссертацию, были доложены и обсуждались: на научном семинаре кафедры ортопедической стоматологии УО БГМУ; конференции «Цельнокерамические реставрации в мире современной стоматологии» (апрель 2008, Минск); конференции студентов и молодых ученых «Инновации в стоматологии» (апрель 2008, Киев), докладу присужден диплом первой степени; 62-й научной конференции студентов и молодых ученых Белорусского государственного медицинского университета (апрель 2008, Минск); 7-й научно-практической конференции по стоматологии (октябрь 2008, Минск); 9-й научно-практической конференции по стоматологии (октябрь 2010, Минск); совместном научно-практическом семинаре «Актуальные аспекты в стоматологии» (октябрь 2011, Минск); юбилейной научной конференции, посвященной 90-летию учреждения образования «Белорусский государственный медицинский университет (октябрь 2012, Минск).

Результаты диссертационного исследования внедрены в лечебный процесс отделения по оказанию платных услуг Республиканской клинической стоматологической поликлиники, стоматологического отделения ОДО «Лекарь МедЦентр» (г. Минск), а также в учебный процесс кафедр ортопедической стоматологии Белорусского государственного

медицинского университета и Витебского государственного ордена Дружбы народов медицинского университета.

Опубликованность результатов диссертации. По теме диссертации опубликовано 14 научных работ: журнальных статей – 7, из них 6 (объемом 3,1 авторских листа) соответствуют требованиям пункта 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, одна монография в соавторстве, 5 статей в сборниках материалов конференций и съездов. Утверждена Министерством здравоохранения Республики Беларусь инструкция по применению «Методика восстановления коронковой части зуба цельнокерамической коронкой, изготовленной по технологии компьютерного фрезерования» № 038–0410 от 06.05.2010 г.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из оглавления, перечня условных сокращений, введения, общей характеристики работы, главы – обзора литературы, главы описания объектов и методов исследования, трех глав, посвященных результатам собственных исследований и их обсуждению, заключения, библиографического списка и приложений.

Библиографический список включает 198 использованных литературных источников (из них 62 публикации на русском языке, 136 – на английском) и 14 публикаций соискателя. Диссертация содержит 59 иллюстраций и 8 таблиц. Общий объем работы составляет 134 страницы, из них 16 страниц занимает библиографический список, приложения – 6 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Материалы и методы исследования

Для решения поставленных задач проведена научно-исследовательская работа, состоящая из экспериментальных и клинических исследований.

Экспериментальные исследования были направлены на изучение напряженно-деформированного состояния зубов, восстановленных цельнокерамическими коронками, и включали в себя математическое моделирование и лазерную голографическую интерферометрию.

В качестве образца для объемного математического моделирования был выбран второй правый премоляр учебной модели зубного ряда верхней челюсти фирмы KAVO (Германия). Нами предложена следующая методика получения исходных данных о размерах и геометрии коронковой части зуба с помощью стоматологической CAD/CAM системы CEREC 3 (Sirona Dental, Германия). Образец был препарирован

под керамическую коронку и отсканирован. С помощью компьютерной программы CEREC 3D была смоделирована искусственная коронка этого зуба и получена серия последовательных срезов виртуальной модели коронковой части зуба. На откалиброванное изображение каждого среза накладывалась масштабная сетка, определялись трехмерные координаты ключевых точек.

На основании полученных данных с помощью компьютерных программ SolidWorks 2007 (SolidWorks Corp., США) и ANSYS Workbench 11.0 (ANSYS Inc., США) были созданы и изучены методом конечных элементов пять трехмерных математических моделей. Контрольной служила объемная модель естественного зуба, имеющая две особенности: вместо уступа было смоделировано плавное истончение слоя эмали, отсутствовал слой фиксирующего материала. Остальные модели воспроизводили зуб, восстановленный однослойной искусственной коронкой, зафиксированной с помощью фосфат-цемента (2 варианта толщины клеевого шва: 50 мкм и 150 мкм) и композитного материала (также толщиной 50 мкм и 150 мкм). Физико-механические свойства изучаемых материалов взяты из научной литературы. Изучалось два варианта приложения вертикальной однонаправленной нагрузки, увеличивающейся от 50 N до 500 N: распределенная по большей части окклюзионной поверхности зуба и сосредоточенная на трех участках жевательной поверхности, воспроизводящих окклюзионные контакты.

Для характеристики напряженного состояния использовались эквивалентные напряжения по Мизесу (von Mises), которые регистрировались в области окклюзионной поверхности и у края коронки.

Объектом лазерной голографической интерферометрии служили 9 макетов с естественными зубами, ранее удаленными по ортодонтическим показаниям. Зубы вертикально фиксировались в блоках из пластмассы холодной полимеризации на $\frac{1}{4}$ длины корня и исследовались в трех состояниях: интактный зуб; зуб восстановлен пластмассовой коронкой; зуб восстановлен цельнокерамической коронкой, изготовленной методом компьютерного фрезерования. В качестве источника монохроматического освещения объекта использовался гелий-неоновый лазер ЛГН-202 с длиной волны 632 нм. Интерферограммы, полученные методом двойной экспозиции, фиксировались на фоточувствительных пластинах ПФГ-03. Первая экспозиция производилась при некоторой нагрузке P_1 , вторая – при нагрузке $P_2 \neq P_1$. Разность ΔP выбиралась в каждом случае исходя из условия получения четко различимой системы интерференционных полос. После химической обработки фотопластинки высушивались,

голографические интерферограммы восстанавливались, а получаемые при этом изображения фиксировались с помощью цифрового фотоаппарата.

Для экспериментов с механическими нагрузками макеты помещались на платформу стенда, прикладывалась нагрузка в диапазоне 0–30 кгс, направленная параллельно длинной оси зубов. Для экспериментов с термическими нагрузками зубы на макетах шлифовались по всей длине примерно на $\frac{1}{3}$ толщины с целью обнажения в плоскости среза их внутренней структуры. Термическая нагрузка создавалась резистивной проволочной петлей, нагреваемой электрическим током, и подводилась к середине окклюзионной поверхности зубов.

Клинические исследования заключались в изучении результатов ортопедического лечения пациентов с дефектами твердых тканей зубов и были выполнены на кафедре ортопедической стоматологии Белорусского государственного медицинского университета на базе Республиканской клинической стоматологической поликлиники.

Пациенты жаловались на функциональные и косметические недостатки зубов, связанные с нарушением целостности коронковых частей, а также с изменением формы и цвета зубов. Наибольшее число обращений было по поводу кариеса и его осложнений, а также в связи с неудовлетворенностью ранее проведенным лечением. Многие пациенты отмечали функциональную неполноценность ранее леченых зубов вследствие сколов и/или стирания пломбировочного материала, изменения цвета композитных реставраций и комбинированных коронок, неудовлетворительного прилегания искусственных коронок, попадания пищи в межзубные промежутки.

Принятым на лечение 62 пациентам было восстановлено 73 зуба путем изготовления искусственных коронок. Все пациенты были разделены на две группы. В первую группу (CEREC) вошло 28 человек (12 мужчин и 16 женщин) в возрасте от 19 до 54 лет. Восстановление 31 зуба в данном случае проводилось керамическими коронками, изготовленными на аппарате CEREC 3 из керамики ProCAD (Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн). Во вторую группу (МК) вошло 34 пациента (13 мужчин и 21 женщина) в возрасте от 19 до 57 лет, которым было восстановлено 42 зуба металлокерамическими коронками. Восстановление зубов коронками было проведено по поводу кариеса дентина – 38 зубов (52,1%) и состояния после эндодонтического лечения – 54 зубов (73,9%). Следует отметить, что 58 зубов (79,4%) ранее уже были восстановлены с применением композитных пломб и искусственных коронок. Клиническое обследование пациентов проводилось по общепринятой схеме с использованием субъективных и объективных методов. Качество

выполненной реставрации исследовали на следующий день, через 3, 6, 12 и 24 месяца после фиксации коронки. Оценивали соответствие цвета, анатомическую форму, краевое прилегание, наличие вторичного кариеса, окклюзионные контакты, состояние контактных пунктов, учитывали субъективную оценку пациентом.

Для оценки эффекта от внедрения технологии компьютерного фрезерования для лечения пациентов с дефектами твердых тканей зубов цельнокерамическими коронками анализировали его медицинский, социальный и экономический аспекты.

Статистическую обработку данных производили с помощью пакета программы Statistica 6.0 (StatSoft, США). При анализе результатов для оценки различий между выборками использовали методы параметрической (расчет средней арифметической, ошибки репрезентативности, t-критерия Стьюдента) и непараметрической (U-критерий Манна–Уитни, W-критерий Уилкоксона) статистики. Выборочные данные, приводимые далее, имеют следующие обозначения: M – среднее, s – стандартное отклонение, m – ошибка среднего, n – объем анализируемой группы, p – достигнутый уровень значимости. Средние значения приводятся с указанием их ошибки ($M \pm m$).

Результаты экспериментальных исследований

С помощью метода математического моделирования были изучены картины распределения напряжений, возникающих при воздействии вертикальной нагрузки на окклюзионную поверхность зуба, и выявлены две области их повышенных значений. Первая формируется в местах воздействия и зависит от вида прикладываемой нагрузки. Вторая опоясывает по всему периметру шейку зуба. Картины напряжений, возникающих при распределенном и концентрированном вариантах приложения вертикальной нагрузки, отличаются только в верхней трети коронки.

При воздействии вертикальной нагрузки на жевательной поверхности керамических коронок регистрируются напряжения, превышающие аналогичные для эмали на 35–37%. Только для модели «Цемент 150 мкм» данная разница признана статистически значимой ($p < 0,05$). В dentine на уровне окклюзионной поверхности культи отмечаются напряжения, на 11–20% больше, чем в dentine интактного зуба ($p < 0,05$). Напряжения в керамике на уровне шейки в модели «Композит 150 мкм» меньше аналогичных напряжений в керамике остальных моделей восстановленных зубов и меньше напряжений в эмали интактного зуба на том же уровне ($p < 0,05$). Это можно объяснить тем, что часть нагрузки в области края коронки распространяется на композитный

материал, который компенсирует её за счет своей упругой деформации. Однако напряжения, возникающие при этом в композите, сопоставимы с прочностью его сцепления с керамикой и твердыми тканями зуба и при длительных нагрузках могут привести к повреждению данной связи.

В дентине опорных зубов на уровне шейки регистрируются значения напряжений на 25–30% меньше аналогичных в интактном зубе ($p < 0,01$). Это свидетельствует о частичной компенсации воздействующей нагрузки за счет изменения напряженно-деформированного состояния керамических коронок и фиксирующего материала.

При анализе напряжений, возникающих в прослойке фиксирующего материала, выявлены следующие закономерности:

1. При толщине слоя 150 мкм в фиксирующем материале отмечается преобладание напряжений в области уступа над напряжениями на уровне верхушки культи в 2,7 раза – для композита и в 3,7 раза – для фосфат-цемента ($p < 0,01$).

2. Напряжения, возникающие в слое фиксирующего материала толщиной 50 мкм, в области уступа меньше, чем на уровне верхушки культи зуба, для композита – в 2,1 раза, а для фосфат-цемента – в 1,3 раза ($p < 0,05$).

3. В области уступа напряжения, возникающие в слое фиксирующего материала толщиной 50 мкм значительно меньше, чем в слое толщиной 150 мкм. Данная разница статистически значима ($p < 0,01$) как для композита (в 6,4 раза), так и для фосфат-цемента (в 4,4 раза).

4. Напряжения, возникающие в области уступа в композите толщиной 50 мкм, значительно меньше аналогичных, возникающих в слое цемента толщиной 50 мкм ($p < 0,01$). Например, при воздействии на жевательную поверхность керамической коронки нагрузки 500 Н в области уступа в слое композита толщиной 50 мкм регистрируются напряжения до $1,85 \pm 0,33$ МПа. Это значительно меньше предела прочности используемых композитных материалов (80–150 МПа) и сил их сцепления с керамикой и дентином (9,2–15,6 МПа). При такой же нагрузке в слое фосфат-цемента толщиной 50 мкм в области уступа отмечаются напряжения до $3,58 \pm 0,24$ МПа, превышающие силы микромеханической адгезии к керамике и дентину (0,5–3 МПа).

Таким образом, на основании результатов анализа напряженно-деформированных состояний трехмерных математических моделей зубов, восстановленных керамическими коронками, и модели интактного зуба, проведенного с помощью метода конечных элементов, можно сделать следующие выводы:

1. Сочетание физико-механических свойств эмали и дентина, а также внутренняя микроструктура позволяют интактному зубу воспринимать

механическую нагрузку как единой биомеханической системе. Нагрузка, воздействующая на эмаль в области жевательной поверхности, передается на дентин, способный к эластической деформации.

2. При механическом воздействии на зуб, восстановленный керамической коронкой, часть энергии поглощается материалом коронки, о чем свидетельствует преобладание значений напряжений в керамике над напряжениями в эмали при идентичной нагрузке.

3. Слой фиксирующего материала передает воздействие нагрузки от керамики к дентину, частично компенсируя её за счет возникновения внутренних напряжений. Толщина слоя и тип фиксирующего материала влияют на его напряженно-деформированное состояние преимущественно в области пришеечного уступа.

4. Для увеличения прочности и надежности керамическую коронку предпочтительно фиксировать с помощью композитного материала. Кроме того, точность изготовления коронки и технология её фиксации должны обеспечивать толщину фиксирующего материала на оптимальном уровне, равном 50 мкм.

С помощью **метода голографической интерферометрии** выявлено сходство между напряженно-деформированными состояниями интактных зубов и зубов, восстановленных керамическими коронками, изготовленными методом компьютерного фрезерования на аппарате CEREC 3, при фиксации которых использовался композитный материал. При механическом воздействии направление интерференционных полос в области перехода керамики коронки в твердые ткани зуба не меняется, что свидетельствует о высокой точности прилегания и достаточной прочности клеевого шва. Это сходство подтверждает результаты математического моделирования и свидетельствует об адекватности созданных трехмерных твердотельных моделей реальным изучаемым объектам. При восстановлении зуба фрезерованной цельнокерамической коронкой реакция комплекса материалов на тепловую нагрузку приближается к реакции интактного зуба. Преимуществом интерференционных полос на границе между керамической коронкой и культей зуба существенно не нарушается. Из этого следует, что теплопроводность и коэффициент термического расширения керамики, композита и твердых тканей зуба близки по абсолютным величинам.

Результаты клинических исследований

В ходе **клинического наблюдения** за пациентами как основной, так и контрольной групп мы не встретили ни одного случая возникновения жалоб на боль в области опорных зубов, расцементировку коронок, функциональные нарушения и эстетический дефект. Пациенты были

довольны результатами лечения. Не наблюдалось истирания коронок и твердых тканей зубов-антагонистов. Сохранялись хорошие окклюзионные контакты и контакты с соседними зубами. Отсутствовали признаки вторичного кариеса и нарушения краевого прилегания. При изучении цвета, оттенка и прозрачности из 31 керамических коронок, изготовленных нами на аппарате CEREC 3, оценку «отлично» получили 28 (90,3%), «хорошо» – 3 (9,7%). В контрольной группе 37 (88,1%) металлокерамических коронок полностью соответствовали цветовым характеристикам соседних зубов (оценка «отлично»), 5 (11,9%) имели незначительные отличия (оценка «хорошо»). Все коронки сохраняли целостность, цвет и блеск на протяжении всего срока наблюдения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Созданы трехмерные твердотельные математические модели, отображающие строение коронковой части естественного интактного зуба, а также зубов, восстановленных цельнокерамическими коронками с толщиной слоя фиксирующего материала 50 мкм и 150 мкм [3, 10, 12].

Основанием для использования адгезивной техники фиксации фрезерованных цельнокерамических коронок с помощью композиционного материала послужили следующие результаты анализа напряженно-деформированных состояний трехмерных математических моделей зубов, проведенного с помощью метода конечных элементов:

– напряжения, возникающие в области уступа в слое фиксирующего материала толщиной 50 мкм меньше, чем в слое толщиной 150 мкм. Данная разница статистически значима как для композита (в 6,4 раза), так и для фосфат-цемента (в 4,4 раза). Так, при воздействии на коронку нагрузки 500 N в слое композита толщиной 150 мкм в области уступа регистрируются напряжения до $11,91 \pm 0,46$ МПа, сопоставимые с прочностью его сцепления с керамикой и дентином опорного зуба (9,2–15,6 МПа). При аналогичной нагрузке в слое фосфат-цемента толщиной 150 мкм в области уступа возникают напряжения до $15,93 \pm 1,96$ МПа, что более чем в 4 раза превышает силы микромеханической адгезии этого материала к керамике и дентину (0,5–3 МПа);

– в области уступа в слое фиксирующего композита толщиной 50 мкм возникают напряжения в 1,9 раза меньше, чем в слое фосфат-цемента аналогичной толщины. Например, при воздействии на жевательную поверхность керамической коронки нагрузки 500 N в области уступа в слое композита толщиной 50 мкм регистрируются напряжения

до $1,85 \pm 0,33$ МПа. Это значительно меньше предела прочности композитных материалов (80–150 МПа) и силы их адгезии к керамике и дентину ($9,2$ – $15,6$ МПа). При аналогичной нагрузке в слое фосфат-цемента толщиной 50 мкм возникают напряжения до $3,58 \pm 0,24$ МПа, которые превышают силы микромеханической адгезии этого материала к керамике и дентину ($0,5$ – 3 МПа) [8, 9].

2. В интактных зубах и зубах, восстановленных цельнокерамическими коронками, изготовленными по CAD/CAM технологии, при фиксации которых использовался композиционный материал, при механических и тепловых воздействиях возникают сходные напряженно-деформированные состояния, свидетельствующие об их биомеханической целостности. Это доказывает высокую точность прилегания фрезерованных цельнокерамических коронок, достаточную прочность адгезивной фиксации с помощью композита, подтверждает результаты математического моделирования и свидетельствует об адекватности созданных трехмерных математических моделей реальным изучаемым объектам [1, 4, 7, 11].

3. Метод восстановления разрушенных зубов с помощью цельнокерамических коронок, изготовленных методом компьютерного фрезерования, обладает целым рядом преимуществ, как для пациента, так и для врача-стоматолога, поскольку:

- предоставляется возможность надежно и эстетично восстановить разрушенный зуб за одно посещение с помощью безметалловой коронки;
- керамические заготовки, серийно изготовленные в промышленных условиях, обладают высокой степенью однородности, стабильностью химического состава и биосовместимостью с тканями полости рта;
- цельнокерамические коронки в наибольшей степени соответствуют эмали зубов по эстетическим характеристикам и физическим свойствам;
- отпадает необходимость в целом ряде технологических этапов (получение оттисков, изготовление гипсовых моделей, фиксация в артикуляторе, моделирование конструкции из воска, литье каркаса из металла или прессование коронки из керамики, послойное нанесение керамической массы и промежуточные обжиги), что ускоряет процесс лечения и уменьшает негативное влияние «человеческого фактора» на качество протеза;
- точность и быстрота изготовления конструкций;
- широкий ассортимент керамических материалов, а также заготовок из различных пластмасс и композитов;

– возможность изготавливать широкий спектр восстановительных конструкций, таких как вкладки, накладки, виниры, коронки, штифтовые зубы, каркасы мостовидных протезов;

– наличие большого числа программных функций облегчает, ускоряет и делает более наглядным процесс моделирования стоматологических конструкций [2, 6, 13].

Необходимая функциональная прочность и надежность восстановления разрушенных зубов с помощью цельнокерамических коронок, изготовленных по CAD/CAM технологии, достигается только при использовании адгезивной техники их фиксации с помощью композиционных материалов. Таким образом, применение CAD/CAM технологии является наиболее оптимальным методом изготовления цельнокерамических искусственных коронок и повышает эффективность ортопедического лечения дефектов твердых тканей зубов [2, 5].

4. Разработаны практические рекомендации для протезирования пациентов с дефектами твердых тканей зубов цельнокерамическими коронками, изготовленными методом компьютерного фрезерования на аппарате CEREC 3 [5, 6].

Разработана и утверждена Министерством здравоохранения инструкция по применению методики восстановления коронковой части зуба цельнокерамической короной, изготовленной по технологии компьютерного фрезерования [14].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Внедрение технологии CAD/CAM в работу стоматологических учреждений позволяет повысить эффективность ортопедического лечения пациентов с дефектами твердых тканей зубов за счет:

- сокращения сроков лечения до одного дня;
- высокой точности изготовления протезов;
- уменьшения числа клинических и лабораторных этапов, что ведет к высвобождению трудовых и материальных ресурсов;
- уменьшения негативного влияния «человеческого фактора» на качество изготовления зубных протезов;
- изготовления биосовместимых керамических конструкций, что снижает вероятность возникновения у пациентов реакций непереносимости стоматологических материалов и последующих переделок протезов.

2. Для эффективного использования цельнокерамических коронок, изготовленных по CAD/CAM технологии на аппарате CEREC 3, при протезировании пациентов с дефектами твердых тканей зубов необходимо соблюдать следующие показания и противопоказания.

Показания для изготовления фрезерованных цельнокерамических коронок:

- дефекты твердых тканей зубов различного происхождения, когда пломбирование и изготовление микропротезов уже неэффективно;
- непереносимость пациентом компонентов стоматологических сплавов;
- повышенные требования пациента к эстетике искусственных коронок;
- необходимость восстановления зуба в одно посещение.

Противопоказания для изготовления цельнокерамических коронок методом компьютерного фрезерования:

- бруксизм, высота клинической коронки менее 5 мм;
- плохая гигиена полости рта;
- наличие фиксированной в опорном зубе металлической вкладки;
- кровоточивость или острые воспалительные процессы в краевом периодонте;
- очаги воспаления в периапикальных тканях;
- невозможность создания циркулярного уступа шириной 0,8–1 мм;
- невозможность качественной изоляции культи зуба от ротовой жидкости.

3. При изготовлении цельнокерамических коронок методом компьютерного фрезерования необходимо соблюдать следующие правила препарирования опорных зубов. Обязательным условием является водно-воздушное охлаждение рабочего поля. Если восстановлению подлежит витальный зуб, то вмешательство следует осуществлять под инфльтрационной или проводниковой анестезией. Культия формируется по общепринятой методике с помощью алмазных или твердосплавных боров. В придесневой области необходимо создать круговой уступ шириной 0,8–1 мм под углом 110–120° к продольной оси зуба без погружения в зубодесневой желобок. В окклюзионной зоне препарируется не менее 1,5 мм в области центральной фиссуры, не менее 2 мм в области бугров и режущих краев зубов. С вестибулярной, оральной и апроксимальных поверхностей сошлифовывается не менее 1 мм твердых тканей. Все грани культи необходимо закруглить и провести финишную обработку поверхностей мелкозернистыми алмазными борами.

4. Для получения качественного оптического слепка с помощью CAD/CAM системы CEREC 3 необходимо расположить наконечник сканера над необходимым участком зубного ряда с соблюдением следующих условий:

1) рекомендуется устранить освещение сканируемой области источниками направленного света, например лампой стоматологической установки;

2) наконечник сканера устанавливают в непосредственной близости над окклюзионной поверхностью зубов, он должен быть ориентирован в направлении дистально расположенных зубов;

3) центрировать изображение зубного ряда в мезио-дистальном направлении;

4) изображение препарированного зуба должно располагаться по центру экрана монитора. Недопустимо появление теней и зон поднутрений в сканируемой области;

5) для получения более качественного оптического оттиска рекомендуется получать несколько изображений препарированного зуба под разными углами обзора, отличающимися между собой не более чем на 20° .

5. Необходимая функциональная прочность и надежность восстановления разрушенных зубов с помощью цельнокерамических коронок, изготовленных методом компьютерного фрезерования, достигается только при использовании адгезивной техники их фиксации с помощью композитных материалов. Предпочтение следует отдавать материалам двойного отверждения.

6. Предложенная в данной работе методика изучения геометрических параметров зубов, а также использованные методы трехмерного твердотельного моделирования и математического анализа методом конечных элементов – наглядные, информативные и эффективные способы исследования напряженно-деформированных состояний различных стоматологических конструкций. Созданные трехмерные математические модели коронковой части зуба могут использоваться в научных исследованиях для изучения прочностных характеристик различных стоматологических материалов.

7. Обобщенная в данной работе информация о стоматологической керамике и возможных вариантах применения компьютерных технологий в стоматологии может использоваться в учебном процессе.

8. Благодаря простоте, наглядности и удобству в работе рекомендуется использование CAD/CAM системы CEREC 3 для приобретения студентами-стоматологами практических навыков по моделированию анатомической формы зубов.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монографии

1. Голографические методы исследования в стоматологии: монография / С.А. Наумович, Ф.Г. Дрик, А.И. Головкин, С.С. Наумович, А.Н. Доста, А.М. Матвеев, С.В. Ивашенко, А.П. Дмитроченко, С.Н. Пархамович, В.А. Шаранда, О.И. Цвирко, Д.М. Полховский; Белорус. гос. мед. ун-т, каф. ортопед. стоматологии; под ред. С. А. Наумовича. – Минск: БГМУ, 2009. – 172 с.

Статьи в научных журналах

2. Полховский, Д.М. Применение компьютерных технологий в стоматологии / Д.М. Полховский // Современная стоматология. – 2008. – № 1. – С. 24–27.

3. Полховский, Д.М. Методика измерения геометрических параметров зуба с помощью аппарата Seres-3 / Д.М. Полховский // Современная стоматология. – 2008. – № 2. – С. 64–66.

4. Наумович, С.А. Исследование напряженно-деформированного состояния зубов методом голографической интерферометрии / С.А. Наумович, Д.М. Полховский, Ф.Г. Дрик // Мед. журн. – 2009. – № 3. – С. 63–66.

5. Полховский, Д.М. Восстановление разрушенных зубов цельнокерамическими коронками, изготовленными с помощью технологии автоматизированного проектирования и производства зубных протезов / Д.М. Полховский // Мед. новости. – 2009. – № 15. – С. 59–63.

6. Полховский, Д.М. Виды стоматологической керамики / Д.М. Полховский // Современная стоматология. – 2010. – № 2. – С. 68–71.

7. Наумович, С.А. Изучение с помощью метода голографической интерферометрии тепловых микродеформаций зубов, восстановленных цельнокерамическими коронками / С.А. Наумович, Д.М. Полховский, Ф.Г. Дрик // Проблемы здоровья и экологии = Problems of health and ecology. – 2011. – № 1 (27). – С. 150–152.

8. Полховский, Д.М. Трехмерное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния зубов, восстановленных керамическими коронками / Д.М. Полховский // Мед. журн. – 2011. – № 1. – С. 83–87.

Статьи в сборниках материалов конференций

9. Полховский, Д.М. Трехмерный математический анализ влияния типа фиксирующего материала на напряженно-деформированное состояние зубов, восстановленных керамическими зубными коронками / Д.М. Полховский // Актуальные вопросы терапевтической, ортопедической, хирургической стоматологии, стоматологии детского возраста и ортодонтии : материалы 7-й междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2008. – С. 59.

10. Полховский, Д.М. Анализ напряженно-деформированного состояния керамических зубных коронок методом конечных элементов. Влияние типа фиксирующего материала / Д.М. Полховский // Инновации в стоматологии : материалы междунар. науч.-практ. конф., Киев, 17–18 апр. 2008 г. / НМУ им. Богомольца. – Киев, 2008. – С. 44.

11. Полховский, Д.М. Исследование напряженно-деформированного состояния зубов методом голографической интерферометрии / Д.М. Полховский // Актуальные вопросы терапевтической, ортопедической, хирургической стоматологии, стоматологии детского возраста и ортодонтии : материалы 8-й междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2009. – С. 161–162.

12. Полховский, Д.М. Изучение влияния фиксирующего материала на напряженно-деформированное состояние цельнокерамических зубных коронок / Д.М. Полховский // БГМУ: 90 лет в авангарде медицинской науки и практики : сб. науч. тр. / Бел. гос. мед. ун-т ; редкол. : А.В. Сикорский [и др.]. – Минск, 2011. – Т. 2. – С. 133.

13. Наумович, С.А.. Виниры (ламинаты), представители высоких технологий в ортопедической стоматологии / С.А. Наумович, С.Н. Пархамович, Д.М. Полховский // Реабилитация в челюстно-лицевой хирургии и стоматологии : сб. тр. Респ. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Паринские чтения 2012», Минск, 3–4 мая 2012 г. / Изд. центр БГУ ; редкол. : И.М. Байриков [и др.]. – Минск, 2012. – С. 325–327.

Инструкции по применению

14. Наумович, С.А. Методика восстановления коронковой части зуба цельнокерамической коронкой, изготовленной по технологии компьютерного фрезерования : инструкция по применению МЗ Республики Беларусь / С.А. Наумович, Д.М. Полховский // Современные методы диагностики, лечения и профилактики заболеваний : сб. инструкт.-метод. документов [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа : <http://med.by/methods/pdf/038-0410.pdf>.

РЭЗЮМЭ

Палхоўскі Дзмітрый Міхайлавіч

Эксперыментальна-клінічнае абгрунтаванне прымянення суцэльнакерамічных каронак, вырабленых метадам камп'ютарнага фрэзеравання

Ключавыя словы: матэматычнае мадэліраванне, аптычная галаграфія, напружана-дэфармаваны стан, кераміка, кампазіт, адгезія, каронка, аўтаматызацыя, фіксацыя.

Мэта працы: эксперыментальна-клінічнае абгрунтаванне ўжывання аўтаматызаванай тэхналогіі праектавання і вытворчасці суцэльнакерамічных штучных каронак для аптымізацыі артапедычнага лячэння дэфектаў цвёрдых тканак зубоў.

Метады праведзенага даследавання: эксперыментальныя, клінічныя, статыстычныя.

Навуковая навізна атрыманых вынікаў. Упершыню створаны трохмерныя матэматычныя мадэлі, якія адлюстроўваюць структуру каронкавай часткі натуральнага зуба, а таксама зубоў, адноўленых суцэльнакерамічнымі каронкамі з рознай таўшчынёй слоя фіксуючага матэрыялу. З дапамогай метаду матэматычнага мадэліравання вызначана, што фіксацыя фрэзераваных керамічных каронак з дапамогай кампазітнага матэрыялу забяспечвае адноўленаму зубу аптымальную трываласць. Метадам галаграфічнай інтэрфераметрыі выяўлена падабенства паміж напружана-дэфармаванымі станамі натуральных зубоў і зубоў, адноўленых керамічнымі каронкамі, вырабленымі метадам камп'ютарнага фрэзеравання, пры фіксацыі якіх выкарыстоўваўся кампазітны матэрыял. Клінічнае даследаванне паказала, што прымяненне камп'ютарнага фрэзеравання для вырабу суцэльнакерамічных зубных каронак павялічвае эфектыўнасць артапедычнага лячэння дэфектаў цвёрдых тканак зубоў.

Рэкамендацыі па выкарыстанні: рэкамендуецца для выкарыстання пры артапедычным лячэнні дэфектаў цвёрдых тканак зубоў.

Вобласць прымянення: артапедычная стаматалогія.

РЕЗЮМЕ

Полховский Дмитрий Михайлович **Экспериментально-клиническое обоснование применения** **цельнокерамических коронок, изготовленных методом** **компьютерного фрезерования**

Ключевые слова: математическое моделирование, оптическая голография, напряженно-деформированное состояние, керамика, композит, адгезия, коронка, автоматизация, фиксация.

Цель работы: экспериментально-клиническое обоснование применения автоматизированной технологии проектирования и производства цельнокерамических искусственных коронок для оптимизации ортопедического лечения дефектов твердых тканей зубов.

Методы проведенного исследования: экспериментальные, клинические, статистические.

Научная новизна полученных результатов. Впервые созданы трехмерные математические модели, отображающие строение коронковой части естественного зуба, а также зубов, восстановленных цельнокерамическими коронками с различной толщиной слоя фиксирующего материала. С помощью метода математического моделирования установлено, что фиксация фрезерованных цельнокерамических коронок с помощью композитного материала обеспечивает восстановленному зубу оптимальную прочность. Методом голографической интерферометрии выявлено сходство между напряженно-деформированными состояниями естественных зубов и зубов, восстановленных керамическими коронками, изготовленными методом компьютерного фрезерования, при фиксации которых использовался композитный материал. Клиническое исследование показало, что применение компьютерного фрезерования для изготовления цельнокерамических зубных коронок повышает эффективность ортопедического лечения дефектов твердых тканей зубов.

Рекомендации по использованию: рекомендуется для использования при ортопедическом лечении дефектов твердых тканей зубов.

Область применения: ортопедическая стоматология.

РЕПОЗИТОРИЙ БГМУ

Подписано в печать 24.04.13. Формат 60×84/16. Бумага писчая «Снегурочка».

Ризография. Гарнитура «Times».

Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1,2. Тираж 60 экз. Заказ 256.

Издатель и полиграфическое исполнение:

учреждение образования «Белорусский государственный медицинский университет».

ЛИ № 02330/0494330 от 16.03.2009.

Ул. Ленинградская, 6, 220006, Минск.