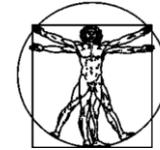


DOI: 10.15593/RZhBiomech/2021.3.04  
УДК 531/534: [57+61]



**Российский  
Журнал  
Биомеханики**  
www.biomech.ru

## **ЧИСЛЕННО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПРЕМОЛЯРОВ С ШТИФТОВЫМИ ЦИРКОНИЕВЫМИ ВКЛАДКАМИ ПРИ РАЗНЫХ УГЛАХ НАГРУЗКИ**

**М.В. Джалалова<sup>1</sup>, А.И. Оганян<sup>2</sup>, Н.А. Цаликова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119192, Москва, Мичуринский проспект, 1, e-mail: margarita-vd@mail.ru

<sup>2</sup> Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова, Российская Федерация, 127473, Москва, ул. Делегатская, 20/1, e-mail: alisa\_17.07@mail.ru

**Аннотация.** Для изучения физико-механических свойств штифтовых культевых конструкций из диоксида циркония, изготовленных методом компьютерного моделирования и фрезерования (CAD\CAM), напряженно-деформированного состояния и их прочностных характеристик были проведены численно-экспериментальные исследования. Образцы представляли собой систему, состоящую из ранее удаленных зубов-премоляров с отсутствующей анатомической коронкой, препарированным корневым каналом и фиксированной в нем штифтовой культевой вкладкой, искусственной коронкой из диоксида циркония, фиксированной на культевой вкладке, и части корня. Препарированные зубы, подготовленные к установке штифтов, сканировались в зуботехнической лаборатории, после чего проводилось фрезерование вкладок из диоксида циркония. Исследовались две группы образцов: в первой группе они подвергались обработке в пескоструйной установке; во второй группе они не были подвержены никакой механической и температурной обработке. Для проведения испытаний прочности образцов на сжатие использовалась универсальная напольная машина для электромеханических испытаний *Instron 5982* в статическом режиме в условиях однократной возрастающей нагрузки. Образцы испытывались с вертикальной нагрузкой и под углом 15° с пескоструйной обработкой порошком оксида алюминия и без обработки. Для каждого варианта получено значение силы, при которой происходило разрушение образца. Также было проведено численное исследование методом конечных элементов на разработанной математической модели зависимости напряженно-деформированного состояния образца от приложенной функциональной нагрузки, действующей вертикально на окклюзионную поверхность зуба и под углом 15°. Задача рассматривалась в осесимметричной постановке. Компьютерная модель включала зуб-премоляр с коронкой, корнем и штифтовой культевой вкладкой с учетом механических свойств материалов каждого из этих элементов. При увеличении угла действующей на коронку нагрузки от 0 до 15° разрушение образца наступает при меньших её значениях, примерно на 10–12 %; максимальные значения напряжений определились в верхней части коронки и шейке зуба (соединение коронки с корнем) – в экспериментах разрушение происходило именно в этих местах. Сравнение экспериментальных усредненных значений нагрузок, при которых происходило разрушение образцов, с численными значениями показало их хорошее согласование.

**Ключевые слова:** образцы, диоксид циркония, штифтовая вкладка, пескоструйная обработка, компьютерная модель.

---

© Джалалова М.В., Оганян А.И., Цаликова Н.А., 2021

Джалалова Маргарита Васильевна, к.ф.-м.н., с.н.с. Научно-исследовательского института механики, Москва

Оганян Алиса Ивановна, старший лаборант кафедры стоматологии и гнатологии, Москва

Цаликова Нина Амурхановна, д.м.н., профессор, завкафедрой стоматологии и гнатологии, Москва

## ВВЕДЕНИЕ

Ортопедическая стоматология за последнее десятилетие достигла значительных успехов, особенно в области зубосохраняющих методик при полном разрушении коронковой части. Для сохранения корней зубов предложено множество вариантов штифтовых зубов и штифтовых конструкций с искусственной культей [5, 16, 18, 19, 21]. Вместе с этим в последние годы значительно повысились требования пациентов к эстетической составляющей при оказании стоматологической помощи.

Широкое практическое применение в эстетической стоматологии XXI века получили протезы из диоксида циркония [6, 9], которому свойственна низкая теплопроводность, обеспечивающая стабильность конструкции и защиту тканей зуба от температурных перепадов. Материал является высокоэстетичным за счет белого цвета и прозрачности, характерной для живых тканей зубов.

В стоматологии диоксид циркония применяется для изготовления внутрикорневых штифтов, каркасов одиночных коронок и мостовидных протезов, имплантатов, абатментов, а также для изготовления эстетичных ортодонтических брекетов [17]. Диоксид циркония является одним из современных конструкционных материалов, который отличается высокой прочностью при изгибе. В работе [11] авторы объясняют это механизмом упрочнения при трансформации, а также сообщают о его высокой биосовместимости, низкой бактериальной адгезии к поверхности, о благоприятных химических свойствах керамики из диоксида циркония. Сравнение прочности циркониевых штифтовых конструкций со стандартными и индивидуальными керамическими вкладками в исследовании [12] показало преимущество первых в отношении прочности на изгиб всей конструкции (1494 Н и 463 Н соответственно). Авторы объясняют это изменением внутренней структуры диоксида циркония в результате нагрева.

Наиболее ранней и распространенной формой поражения зубочелюстной системы являются дефекты коронок зубов различного происхождения. Самой частой причиной является кариес, распространенность которого среди взрослого населения составляет 97–100 % [4]. Несвоевременное лечение зубов с разрушенной коронкой влечет за собой развитие морфологических изменений в зубных рядах и функциональную дезорганизацию зубочелюстной системы [1]. Восстановление разрушенных зубов и их корней является одной из основных задач в стоматологии.

Протезирование с использованием корней дает возможность более эффективно восстанавливать функцию зубочелюстной системы, нормализовать акт жевания, речи и эстетики, что оказывает положительное влияние на качество жизни и здоровье человека в целом [7, 8].

Высокая эффективность восстановления функции жевания при использовании корней зубов обусловлена тем, что опирающиеся на корни протезы передают естественным путем жевательное давление через периодонт. Поэтому реставрация коронковой части зуба после эндодонтического лечения и использование корней зубов для протезирования является одной из самых интенсивно и давно изучаемых проблем.

Таким образом, главная задача при восстановлении зубов с сильно разрушенной или отсутствующей коронковой частью заключается в обеспечении адекватной ретенции конечной реставрации и максимальной защите корня зуба от перелома. Общепринятым решением этой задачи является применение различных видов штифтов и штифтовых конструкций. Функциональная эффективность восстановления зубов во многом зависит от конструкционных особенностей штифтовых конструкций [13, 14].

Штифтовыми зубами называются искусственные коронки, соединенные со штифтом, за счет которого они фиксируются в корневом канале. Такая конструкция позволяет восстанавливать утраченную анатомическую форму и в определенной

степени функцию зуба. Они могут функционировать как самостоятельный протез, а также использоваться для фиксации несъемных протезов, например мостовидных.

С развитием *CAD/CAM*-технологий [5, 20, 22] стало возможным изготовление большого спектра ортопедических конструкций на основе диоксида циркония: вкладки, виниры, одиночные коронки, мостовидные протезы любой протяженности; широко распространено использование его в протезировании на имплантатах, также для изготовления штифтовых культевых конструкций.

Вместе с тем в доступной литературе нами не было обнаружено объективных данных, подтверждающих обоснованность применения диоксида циркония с целью восстановления культи зуба в отделах зубного ряда с учетом различных нагрузок при жевании.

Целью настоящего исследования явилось определение прочностных характеристик премоляров со штифтовыми культевыми конструкциями из диоксида циркония для повышения эффективности ортопедического лечения зубов с частично или полностью разрушенной коронкой.

### МАТЕРИАЛЫ, ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Для изучения физико-механических свойств штифтовых культевых конструкций из диоксида циркония, изготовленных методом компьютерного моделирования и фрезерования (*CAD/CAM*), напряженно-деформированного состояния и их прочностных характеристик были проведены численно-экспериментальные исследования. При сильно разрушенной коронковой части зубов диоксид циркония применяется для обеспечения большей прочности системы «штифт – вкладка – зуб», чем композиционные материалы, при этом решающее значение для долговременного функционирования всей системы имеет материал вкладки.

Исследуемые образцы представляли собой систему, состоящую из ранее удаленных зубов-премоляров с отсутствующей анатомической коронкой, препарированным корневым каналом и фиксированной в нем штифтовой культевой вкладкой, искусственной коронкой из диоксида циркония, фиксированной на культевой вкладке, и части корня. Препарированные зубы, подготовленные к установке штифтов, сканировались в зуботехнической лаборатории, после чего проводилось фрезерование вкладок из диоксида циркония. Всё это изготавливалось методом компьютерного моделирования и фрезерования *CAD/CAM* (рис. 2). Исследовались две группы образцов: образцы первой группы подвергались обработке в пескоструйной установке; образцы второй не были подвержены никакой механической и температурной обработке.



Рис. 1. Вид натурального корня, коронки и циркониевой вкладки



Рис. 2. Искусственные коронка и вкладка из диоксида циркония



Рис. 3. Оснастка для проведения испытаний тонкими держателями



Рис. 4. Оснастка для проведения испытаний толстыми держателями

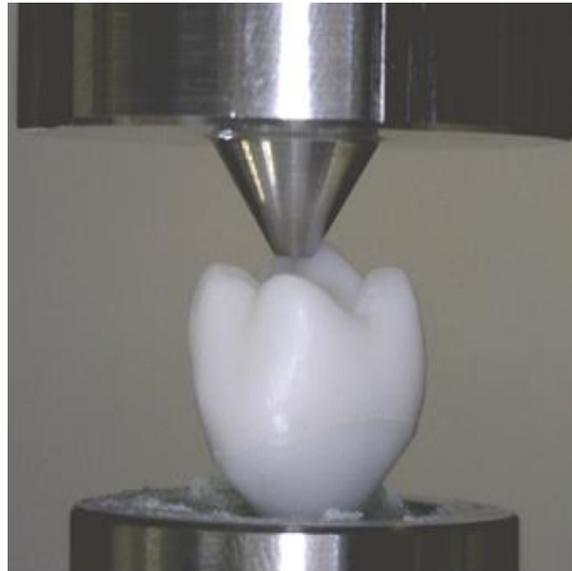


Рис. 5. Нагружение премоляра

Для проведения испытаний прочности образцов на сжатие использовалась универсальная напольная машина для электромеханических испытаний *Instron 5982* (Германия) в статическом режиме в условиях однократной возрастающей нагрузки (Троицк). 15 образцов испытывались вертикальной нагрузкой и 15 образцов – нагрузкой под углом  $15^\circ$  с пескоструйной обработкой порошком оксида алюминия с размером зерна 250 мкм, и столько же вариантов без пескоструйной обработки. Для каждого варианта получены значения сил, при которых происходило разрушение образца.

Для исследования сначала использовали тонкие держатели с циркониевыми опорами (рис. 3). Максимальная нагрузка для данных опор и используемого датчика составляла 1000 Н. Прикладываемая нагрузка оказалась недостаточной для разрушения образцов, которые упруго деформировались без разрушения, поэтому было принято решение о замене опор и датчика силы, выдерживающих большую нагрузку. Были использованы новые стальные опоры, для которых датчик силы и держатели рассчитаны на максимальную нагрузку в 10 кН (рис. 4).

На рис. 5 показан процесс нагружения премоляра: в нижнем зажиме крепился цилиндр с образцом – зубом, в верхнем зажиме располагалась опора в виде усеченного конуса. Образец и опора подводились друг у другу до касания, при этом опора располагалась по центру зуба между буграми, давление на зуб направлено вдоль оси штифта вкладки. После касания производилось нагружение зуба поступательным движением опоры с постоянной скоростью. Нагружение останавливалось при наступлении частичного или полного разрушения зуба. Характеристики физико-механических свойств получали графическим путем с использованием диаграмм, записанных регистрирующим прибором машины. Во время измерения строился график зависимости силы нагружения от перемещения опоры.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Экспериментальное исследование прочностных свойств системы «штифт – вкладка – зуб»

Основные результаты проведенных испытаний приведены в табл. 1 и 2: каждому образцу соответствует максимальное значение нагрузки (под углом  $0^\circ$  и под углом  $15^\circ$ ), при которой происходило разрушение зуба. Исследовались две группы образцов: с пескоструйной обработкой и без нее. Использование пескоструйной обработки (ПО) позволяет обеспечить дополнительное сцепление облицовки и каркаса, способствует повышению степени адгезионной прочности при фиксации на цемент. Ряд авторов указывает, что ПО циркония повышает прочность материала на изгиб [10]]. Несмотря на то, что ПО приводит к повышению шероховатости и образованию мини-кратеров на поверхности материала, авторы работ [15] и [10] полагали, что вследствие фазового перехода образуются блокирующие напряжения, оказывающие влияние на механическую прочность образца. В рамках нашего исследования было произведено сравнение характеристик двух групп образцов:

Таблица 1

#### Прочность премоляров (Н) при углах нагрузки $0^\circ$ и $15^\circ$ (с пескоструйной обработкой)

Номер образца	Нагрузки, Н	
	$0^\circ$	$15^\circ$
1	10969,25	8918,45
2	11004,25	8927,17
3	11016,87	8953,76
4	11035,28	8961,23
5	11024,84	8959,16
6	11048,21	8942,29
7	11059,99	8931,61
8	11087,27	8920,18
9	10989,29	8938,47
10	11084,68	8948,06
11	11019,92	8950,91
12	11099,16	8958,13
13	11117,82	8960,18
14	11102,74	8926,72
15	11125,78	8963,23

Таблица 2

#### Прочность премоляров (Н) при углах нагрузки $0^\circ$ и $15^\circ$ (без пескоструйной обработки)

Номер образца	Нагрузки, Н	
	$0^\circ$	$15^\circ$
1	9696,01	7732,68
2	9701,98	7746,98
3	4479,94	2568,45
4	9574,42	7816,49
5	9857,94	7879,28
6	9628,61	7637,92
7	9927,69	7613,58
8	10164,08	7819,42
9	10428,16	8514,38
10	9981,38	8296,32
11	10047,91	8132,95
12	9760,82	13145,82
13	15235,76	7768,94
14	9798,71	7778,91
15	9812,16	7789,95

– образцы первой группы (группа 1 – ПО) подвергались обработке в пескоструйной установке порошком оксида алюминия зерном 250 мкм (в работах [2, 3] было установлено наилучшее значение размера зерна 250 мкм);

– образцы второй группы (группа 2 – без ПО) не были подвержены никакой механической и температурной обработке.

В табл. 3 приведены усредненные значения по всем образцам.

Сравнение результатов оценки прочностных свойств штифтовых культевых вкладок из диоксида циркония показало, что среднее значение приложенной нагрузки, при которой происходит разрушение, под углом 0° в группе 1 (ПО) составило 11052 Н, в группе 2 (без ПО) величина этого показателя была ниже на 10 % – 9872 Н (см. табл. 3).

При величине угла 15° значение показателя максимальной нагрузки в группе 2 (без ПО) снизилось до 7822 Н, примерно на 13 % ниже аналогичного значения с ПО – 8944 Н. Средние значения нагрузки под углом 15° примерно на 20 % меньше, чем при угле 0°, для обеих групп.

Таким образом, разрушение скорее наступает при меньших значениях нагрузки без пескоструйной обработки, а также с увеличением угла действующей нагрузки.

Таблица 3

**Усредненные значения нагрузок с ПО и без ПО**

Углы	Группа 1 (ПО) ( $n = 15$ )	Группа 2 (без ПО) ( $n = 15$ )
0°	11052	9872
15°	8944	7822

#### **Численное исследование прочностных свойств системы «штифт – вкладка – зуб»**

Для понимания процесса разрушения зуба было проведено численное исследование прочностных свойств конструкции «штифт–вкладка–зуб» с учетом физико-механических свойств материалов каждого из этих элементов (см. табл. 4). Компьютерная модель, состоящая из зуба-премоляра с коронкой, корнем и штифтовой вкладкой, создавалась на основании средних геометрических значений экспериментальных образцов (рис. 6).

На рис. 6 показана модель в разрезе: коронка и вкладка состоят из одного материала – диоксида циркония, но для более ясной визуализации изображены разными цветами, корень – темно-серого цвета из дентина. На рис. 7 показаны для сравнения компьютерная модель вкладки и натурная циркониевая вкладка.

На рис. 8–11 представлены результаты численного решения – распределения значений напряжения по Мизесу и перемещений в коронке и вкладке. Задача решалась методом конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS в линейно-упругой постановке. В расчетах рассматривалась гладкая поверхность вкладки (без ПО). Граничные условия: корень зуба полностью закреплялся аналогично экспериментам – запрет перемещений по осям X, Y, Z, распределенная нагрузка задавалась на окклюзионную поверхность, соответствующую площади усеченного конуса (см. рис. 5), при 0 и 15 градусах.

Таблица 4

**Механические свойства материалов**

Материалы	Модуль упругости, ГПа	Коэффициент Пуассона
Цирконий	210	0,20

Дентин	15	0,32
--------	----	------

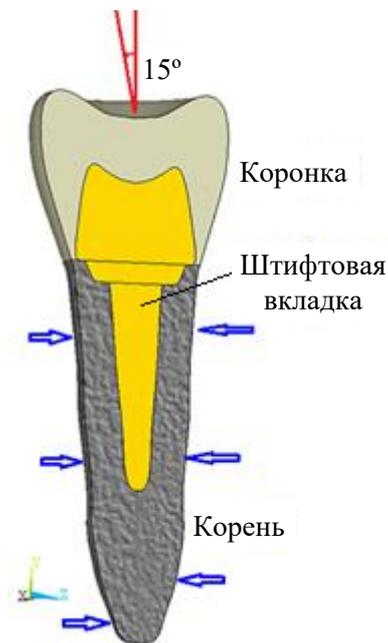


Рис. 6. Компьютерная модель



Рис. 7. Компьютерная (а) и натурная вкладки (б)

Для построения модели использовался объемный элемент *Solid 186* – элемент для трехмерного моделирования твердых тел с двадцатью узлами и тремя степенями свободы в каждом узле (перемещения в каждом узле в направлениях X, Y, Z).

На цветных прямоугольниках, показывающих количественное распределение значений напряжений по Мизесу, можно видеть, что серый цвет – это минимум, красный – максимум. Поскольку в экспериментах среднее значение вертикальной нагрузки, при которой происходило разрушение образца, составляло величину 9872 Н (см. табл. 3), то в расчетах задавалось значение нагрузки  $F = 10000$  Н на участок окклюзионной поверхности зуба, площадь которой соответствовала площади круга усеченного конуса (см. рис. 5) и составляла  $S = 4,925$  мм<sup>2</sup>, следовательно, давление  $p = F/S = 2030$  МПа.

На рис. 8 показано распределение напряжений в коронке и вкладке – полная модель слева, и справа крупным планом – значения напряжений в области шейки зуба. Здесь выделена область с максимальным значением напряжения  $\sigma_{\max} = 1507$  МПа.

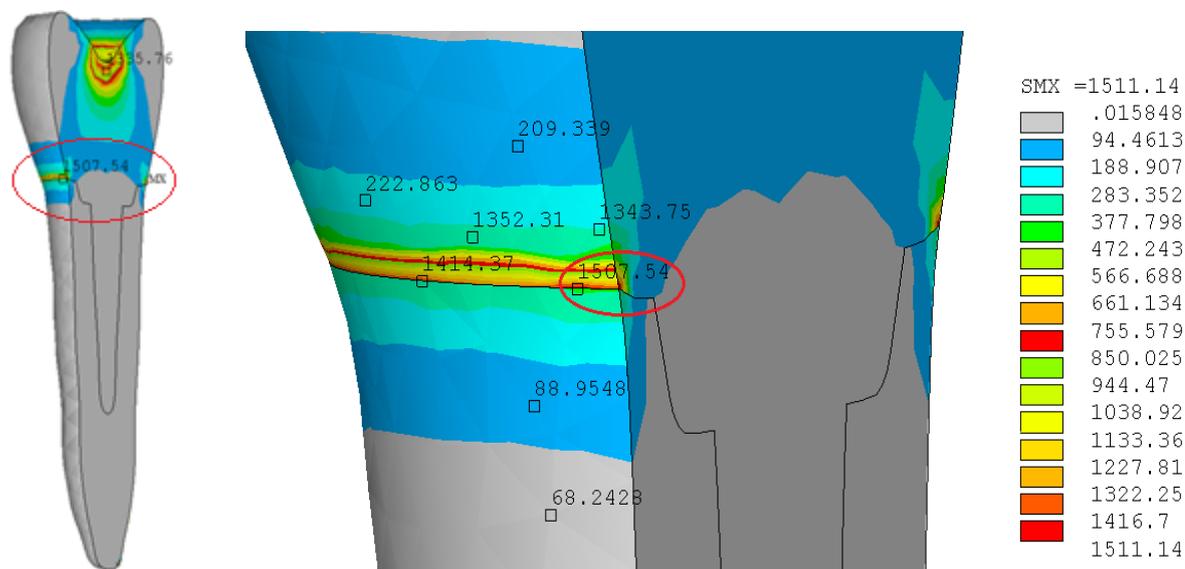


Рис. 8. Распределение напряжений в коронке и вкладке под действием вертикальной нагрузки. В углублении окклюзионной поверхности можно видеть также большое значение напряжения – 1335 МПа. Аналогично проведен расчет для нагрузки под углом 15°. В этом случае значение нагрузки задавалось  $F = 7800$  Н (в экспериментах среднее значение нагрузки под углом 15°, при которой происходило разрушение образца, составляло 7822 Н (см. табл. 3).

На рис. 9 и 10 показано распределение напряжений в коронке и вкладке: на рис.9 видно несимметричное распределение напряжений, а сама модель немного изогнулась вправо (специально утрированный масштаб).

Максимальные значения напряжений оказались также на срединном участке окклюзионной поверхности – 1445 МПа и в области шейки – 1554 МПа. Более крупным планом распределение напряжений в этой области показано на рис. 10.

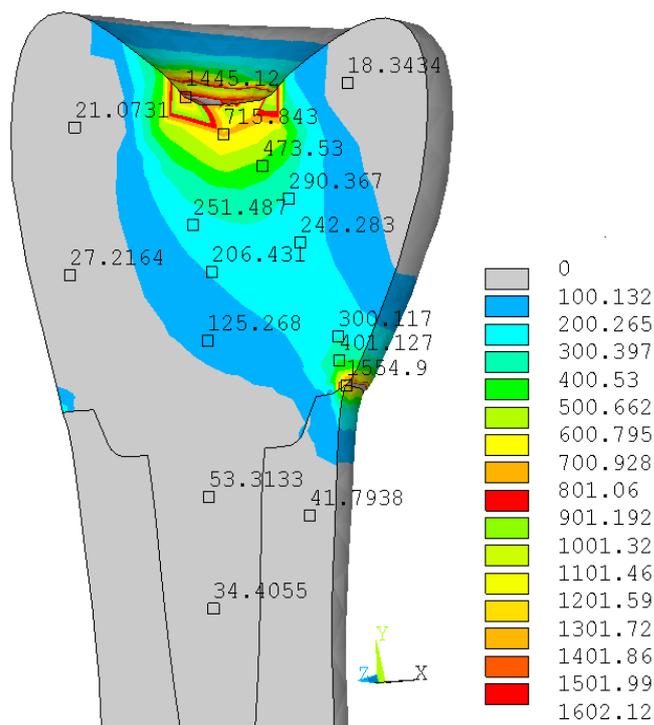


Рис. 9. Распределение напряжений в коронке и штифте – нагрузка под углом 15°

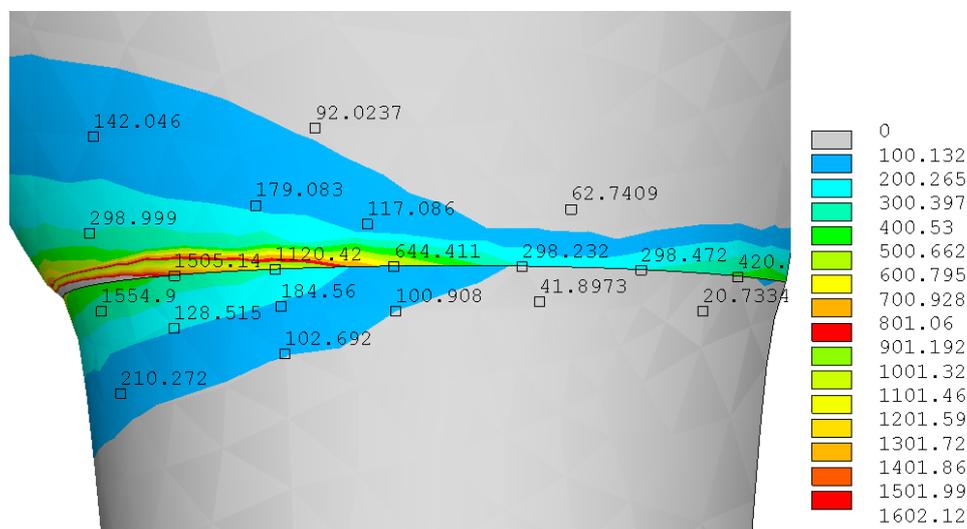


Рис. 10. Распределение напряжений в области шейки зуба – нагрузка под углом 15°

Таким образом, численные расчеты показали, что значения напряжений при задании нагрузок, соответствующих нагрузкам в экспериментах при 0 и 15°, получаются очень большими в обоих вариантах. А поскольку прочность на изгиб циркониевых штифтовых конструкций составляет 1400 МПа (как отмечено во введении), то численные значения напряжений более 1500 МПа и есть те значения, при которых происходит разрушение зуба, т.е. численный эксперимент полностью дублирует экспериментальный. В натурных экспериментах разрушение происходило именно в тех же местах, что и в численном эксперименте – зуб раскалывался сверху и по линии шейки.

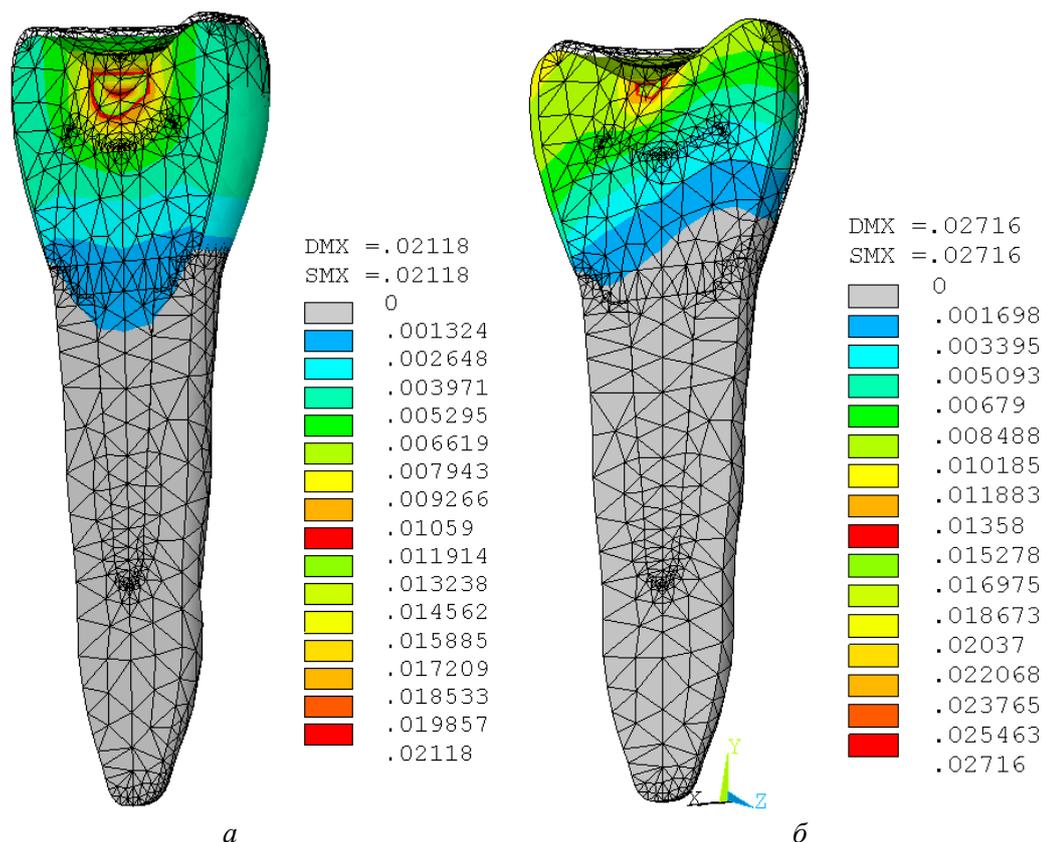


Рис. 11. Распределение перемещений: *a* – конечно-элементная модель премоляра в разрезе с штифтовой вкладкой – перемещения под действием вертикальной нагрузки; *б* – перемещения под действием нагрузки под углом 15°

На рис. 11 показаны перемещения материала коронки и вкладки конечно-элементных моделей в разрезе под действием вертикальной нагрузки и под углом 15°. Максимальные перемещения в обоих случаях находятся в области окклюзионной поверхности, на которую производилась распределенная нагрузка – показано красным цветом, в области корня зуба нет никаких перемещений, так как он полностью закреплен – показано серым цветом. Максимальные значения перемещения в варианте под углом 15° на 22 % больше перемещений под углом 0°.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе использован подход к исследованию прочностных свойств премоляра, заключающийся в том, что испытанию подвергались образцы, имеющие характерную для конструкции геометрию, под действием соответствующих нагрузок, с реализацией специфических (неоднородных) видов напряженно-деформированного состояния.

Дополнительно к натурным экспериментам проведены виртуальные (численные) тесты на компьютерном двойнике эксперимента, которые позволили увидеть распределение напряженно-деформированного состояния (НДС) по всему объему исследуемой модели.

По результатам натурных и виртуальных испытаний были выявлены предельные характеристики разрушения и оценена степень неоднородности НДС в коронках, включая места зарождения трещины. Определено, что разрушение наступает при меньших значениях нагрузки без пескоструйной обработки, а также с увеличением угла действующей нагрузки.

Сравнение экспериментальных усредненных значений нагрузок, при которых происходило разрушение образцов, с численным моделированием показало их хорошее согласование. Разрушение в натурных и численных экспериментах выявлено в одних в тех же местах – зуб раскалывался сверху и по линии шейки.

На основании результатов работы разработаны практические рекомендации по применению штифтовых культевых конструкций из диоксида циркония для восстановления разрушенных зубов в различных участках зубного ряда и методики их изготовления.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гамзаев Б.М., Ибрагимова Л.К., Гусейнова Р.Н. Ещё раз о кариесе // Проблемы стоматологии. – 2012. – № 1. – С. 18.
2. Джалалова М.В., Степанов А.Г. Изучение поверхности циркониевого зубного имплантата в наномасштабе атомно-силовым микроскопом // Российский журнал биомеханики. – 2020. – Т. 24, № 4. – С. 431–437. DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2020.4.05.
3. Джалалова М.В., Степанов А.Г. Численно-экспериментальное исследование влияния толщины цементного соединения трансдентального имплантата с тканями зуба на его адгезионные свойства // Российский журнал биомеханики. – 2020. – Т. 24, № 2. – С. 203–215. DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2020.2.08.
4. Кузьмина Э.М., Смирнова Т.А., Кузьмина И.Н. Основы индивидуальной гигиены полости рта. – М., 2008. – 116 с.
5. Разумная З.В. Совершенствование технологии изготовления зубных протезов с помощью САД/САМ систем: автореф. дис. ... канд. мед. наук. – М., 2012. – 23 с.
6. Саламов М.Я., Цаликова Н.А., Оганян А.И., Никольский В.Д. Обоснование применения супраструктур имплантатов, изготовленных из диоксида циркония // Dental Forum. – 2015. – № 4. – С. 77.
7. Глуштенко В.П., Садыков М.И., Комлев С.С. Использование усовершенствованных литых культевых штифтовых вкладок в клинике ортопедической стоматологии // Стоматология. – 2008. – № 5. – С. 61–64.
8. Трезубов В.Н, Мишнёв Л.М., Жулёв Е.Н., Трезубов В.В. Ортопедическая стоматология. Прикладное материаловедение. – М.: МЕДпресс-информ, 2018. – 368 с.
9. Хван В.И. Лабораторно-экспериментальное обоснование ортопедического лечения зубными протезами с опорой на стекловолоконные и диоксид циркониевые супраструктуры: дис. ... канд. мед. наук. – М., 2010. – 188 с.
10. Guazzato M., Albakry M., Ringer S.P., Swain M.V. Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part II. Zirconia-based dental ceramics // Dent. Mater. – 2004. – Vol. 20, no. 5. – P. 449-456. DOI: 10.1016/j.dental.2003.05.002
11. Guess PC, Att W, Strub JR. Zirconia in fixed implant prosthodontics // Clin. Implant Dent. Relat. Res. – 2012. – Vol.14, no. 5. – P. 633–645. DOI: 10.1111/j.1708-8208.2010.00317.x
12. Heydecke G., Butz F., Strub J. R. Fracture strength and survival rate of endodontically treated maxillary incisors with approximal cavities after restoration with different post and core systems: an in-vitro study // Journal of Dentistry. – 2001. – Vol. 29, no. 6. – P. 427–433. DOI: 10.1016/s0300-5712(01)00038-0
13. Koch A.T., Binus S.M., Holzschuh B., Petschelt A., Powers J.M, Berthold C. Restoration of endodontically treated teeth with major hard tissue loss -influence of post surface design on pull-out bond strength of fiber-reinforced composite posts // Dent. Traumatol. – 2014. – Vol. 30, no. 4. – P. 270–279. DOI: 10.1111/edt.12089

14. Kölpin M., Sterzenbach G., Naumann M. Composite filling or single crown? The clinical dilemma of how to restore endodontically treated teeth // *Quintessence Int.* – 2014. – Vol. 45, no. 6. – P. 457–466. DOI: 10.3290/j.qi.a31802
15. Kosmac T., Oblak C., Jevnikar P., Funduk N., Marion L. The effect of surface grinding and sandblasting on flexural strength and reliability of Y-TZP zirconia ceramic // *Dent. Mater.* – 1999. – Vol. 45, no. 6. – P. 426–433. DOI: 10.1016/s0109-5641(99)00070-6
16. Lamichhane A., Xu C., Zhang F. Dental fiber-post resin base material: a review // *J. Adv. Prosthodont.* – 2014. – Vol. 6, no. 1. – P. 60–65. DOI: 10.4047/jap.2014.6.1.60
17. Manicone P.F., Iommetti P.R., Raffaelli L. An overview of zirconia ceramics: basic properties and clinical applications // *J. Dent.* – 2007. – Vol. 35, no. 11. – P. 819–826. DOI: 10.1016/j.jdent.2007.07.008
18. Mannocci F., Cowie J. Restoration of endodontically treated teeth // *Br. Dent. J.* – 2014. – Vol. 216, no. 6. – P. 341–346. DOI: 10.1038/sj.bdj.2014.198
19. Park J.H., Choi Y.S. In vitro study of microleakage of endodontically treated teeth restored with different adhesive systems and fiber-reinforced posts // *J. Korean Acad. Prosthodont.* – 2014. – Vol. 52, no. 2. – P. 74–81. DOI: <http://doi.org/10.4047/jkap.2014.52.2.74>
20. Schmitter M., Lippenberger S., Rues S., Gilde H., Rammelsberg P. Fracture resistance of incisor teeth restored using fibre-reinforced posts and threaded metal posts: effect of post length, location, pretreatment and cementation of the final restoration // *Int. Endod. J.* – 2010. – Vol. 43, no. 5. – P. 436–442. DOI: 10.1111/j.1365-2591.2010.01705.x
21. Uo M., Sjogren G., Sundh A., Watari F., Bergman M., Lerner U. Cytotoxicity and bonding property of dental ceramics // *Dent. Mater.* – 2003. – Vol. 19, no. 6. – P. 487–492. DOI: 10.1016/s0109-5641(02)00094-5
22. Zicari F., Van Meerbeek B., Scotti R., Naert I. Effect of ferrule and post placement on fracture resistance of endodontically treated teeth after fatigue loading // *J. Dentistry.* – 2013. – Vol. 41, no. 3. – P. 207–215. DOI: 10.1016/j.jdent.2012.10.004

## NUMERICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF PREMOLARS STRENGTH PROPERTIES WITH PIN ZIRCONIUM INSERTS AT DIFFERENT LOAD ANGLES

**M.V. Dzhalalova, A.I. Oganyan, N.A. Tsalikova (Moscow, Russian Federation)**

To study the physical and mechanical properties of zirconium dioxide post stump structures made by computer modeling and milling (CAD/CAM), the stress-strain state and their strength characteristics, numerical and experimental studies were carried out. The test specimens were a system consisting of previously extracted premolar teeth with an absent anatomical crown, a prepared root canal and a post stump inlay fixed in it, an artificial zirconium dioxide crown fixed on the pin insert, and a part of the root. The prepared teeth for the placement of the posts were scanned in the dental laboratory, after which the pin insert of zirconium dioxide were milled. Investigated 2 groups of samples: specimens of the first group were processed in a sandblasting unit; the specimens of the second were not subjected to any mechanical and temperature treatment. To test the compressive strength of the specimens, we used an Instron 5982 universal floor electromechanical testing machine in static mode under conditions of a single increasing load. The specimens were tested with vertical load and at an angle of 15° with and without sandblasting with aluminum oxide powder. The value of the force for each variant was obtained, at which the samples were destroyed. Also, a numerical study was carried out by the finite element method on the developed mathematical model of the stress-strain state dependence of the sample on the applied functional load acting vertically on the occlusal surface of the tooth and at an angle of 15°. The problem was considered in an axisymmetric setting. The computer model included a premolar tooth with a crown, a root and a pin insert, taking into account the mechanical properties of the materials of each of these elements. With an increase in the angle of the load

acting on the crown from  $0^\circ$  to  $15^\circ$ , the destruction of the sample occurs at its lower values, by about 10–12 %; the maximum values of stresses were determined in the upper part of the crown and the neck of the tooth (connection of the crown to the root) – in the experiments, destruction occurred precisely in these places. Comparison of the experimental averaged values of the loads at which the destruction of the samples occurs with the numerical values showed their good agreement.

**Key words:** specimens, zirconium dioxide, pin insert, sandblasting, computer model.

*Получено 5 августа 2021*