

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ»

*На правах рукописи*

**САХАБИЕВА ДЖАМИЛЯ АЙДАРОВНА**

**ПРИМЕНЕНИЕ ЗУБНЫХ КОРОНОК ИЗ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ИХ СКОРОСТНОГО ОБЖИГА**

3.1.7 Стоматология

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:  
**Деев Михаил Сергеевич,**  
кандидат медицинских наук, доцент

Москва – 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
ГЛАВА 1. ПРИМЕНЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ЗУБНЫХ ПРОТЕЗОВ ИЗ ПРОЗРАЧНОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ .....	14
1.1 ЭВОЛЮЦИЯ СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ .....	16
1.2 ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЗРАЧНОСТИ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ.....	18
1.3 СВОЙСТВА ПРОЗРАЧНОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ.....	21
1.3.1 ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОЗРАЧНОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ .....	21
1.3.2 ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОЗРАЧНОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ	24
1.4 ЛАБОРАТОРНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБНЫХ ПРОТЕЗОВ ИЗ ПРОЗРАЧНОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ.....	25
1.5. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОЗРАЧНОСТЬ ЗУБНЫХ ПРОТЕЗОВ ИЗ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ .....	29
1.5.1 ТОЛЩИНА СТЕНКИ ПРОТЕЗА ИЗ ПРОЗРАЧНОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ .....	29
1.5.2 ОКРАШИВАНИЕ МОНОЛИТНЫХ ЗУБНЫХ ПРОТЕЗОВ ИЗ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ.....	30
1.6 НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ДЕГРАДАЦИЯ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ .....	30
1.7 ПОКАЗАНИЯ К ПРИМЕНЕНИЮ ЗУБНЫХ ПРОТЕЗОВ ИЗ ПРОЗРАЧНОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ.....	31
1.8 ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБНЫХ ПРОТЕЗОВ У КРЕСЛА ПАЦИЕНТА (CAD/CAM ТЕХНОЛОГИИ) И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ .....	33
1.9 ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ЗУБОПРОТЕЗНЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПРОЗРАЧНОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ .....	35
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	37
2.1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	37
2.1.1. ХАРАКТЕРИСТИКА СТОМАТОЛОГИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА «ZICERAM T» .....	37

2.1.2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБРАЗЦОВ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ КЕРАМИК НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ДЛЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ .....	39
2.1.3 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБРАЗЦОВ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ КЕРАМИК НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ИХ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ .....	42
2.1.4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ СКОРОСТНОГО ОКОНЧАТЕЛЬНОГО СПЕКАНИЯ ОБРАЗЦОВ СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ «ZICERAM T» .....	43
2.1.5 МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ОБРАЗЦОВ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ КЕРАМИК НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ	48
2.1.6 МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЦВЕТА ОБРАЗЦОВ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ КЕРАМИК НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ	50
2.2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ КЛИНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	52
2.2.1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГРУПП ПАЦИЕНТОВ.....	52
2.2.2 КЛИНИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЭТАПЫ ОРТОПЕДИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ ОБЕИХ ГРУПП КЕРАМИЧЕСКИМИ КОРОНКАМИ ИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ, ОКОНЧАТЕЛЬНОЕ СПЕКАНИЕ КОТОРЫХ ПРОВЕДЕНО ПО ОПТИМАЛЬНОМУ РЕЖИМУ УСКОРЕННОГО ОБЖИГА.....	53
2.2.3 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРТОПЕДИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИМИ КОРОНКАМИ.....	57
2.3 МЕТОДИКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ .....	63
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	64
3.1 РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	64
3.1.1 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ СКОРОСТНОГО СПЕКАНИЯ ОБРАЗЦОВ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ИЗ ЗАГОТОВОК ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА «ZICERAM T» НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ ИЗГИБЕ.....	64
3.1.2 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ СКОРОСТНОГО СПЕКАНИЯ ОБРАЗЦОВ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ИЗ ЗАГОТОВОК ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА «ZICERAM T» НА ПАРАМЕТРЫ ЦВЕТА И ПРОЗРАЧНОСТИ .....	71

3.2 РЕЗУЛЬТАТЫ КЛИНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	79
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	92
ВЫВОДЫ .....	101
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	103
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ .....	104
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	105

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Актуальность темы**

Прогресс стоматологии во многом определяется развитием стоматологического материаловедения. Новые материалы открывают новые возможности в реставрации зубов и зубных рядов [1,3,4,7,10,11,14,21, 22,25,26,28]. В последние годы большое распространение в ортопедической стоматологии для лечения пациентов с дефектами твердых тканей зубов получила CAD/CAM технология “chairside”, которая позволяет изготавливать коронки без участия зуботехнической лаборатории непосредственно в клинике в течение короткого времени на глазах у пациента [18]. Это ускоряет процесс лечения и повышает его качество, снижает риск конфликтных ситуаций между врачом и пациентом, повышает удовлетворенность пациента лечением, в котором он принимал непосредственное участие, повышает доверие пациента к лечению, которое проводится «на глазах» у пациента без наличия «скрытых» невидимых процедур «сомнительного качества» [7]. Для реализации такой технологии используются различные материалы, подробно описанные в диссертации К.Э. Горяиновой (2017): полевошпатная керамика, лейцитная стеклокерамика, гибридная керамика [6]. Керамика на основе диоксида циркония для этих целей ранее не применялась, так как процесс ее окончательного обжига («синтеризации») проходил в течение 8-10 часов при температуре около 1500°C, что требовало обязательного лабораторного этапа изготовления [9].

### **Степень разработанности темы**

За последние 5 лет в ортопедическом стоматологическом материаловедении произошли революционные изменения – разработаны технология получения зубопротезных керамик на основе диоксида циркония с различной степенью прозрачности и технология ускоренной «синтеризации»

(вместо 8-10 часов – 17-90 минут, указанные в проспектах фирм Дентсплай-Сирона, США; Ивоклар-Вивадент, Лихтенштейн; Вита Цанфабрик, Германия и др.).

Медицинская промышленность отреагировала на нововведение выпуском на рынок новейших портативных печей для быстрой технологии спекания. В 2019 году на международной выставке в Кёльне были представлены рабочие экземпляры такого оборудования – «SpeedFire» (Дентсплай-Сирона, США), «Programat S1-1600» (Ивоклар Вивадент, Лихтенштейн) и др. В настоящий момент выпуск подобного оборудования налажен многими иностранными фирмами. Отечественная промышленность пока таких печей не выпускает.

В Российской Федерации Санкт-Петербургская фирма «Циркон Керамика» наладила выпуск заготовок для зубных протезов из различных керамик на основе диоксида циркония: опакowych белых, предварительно окрашенных, в том числе, с различной послойной цветностью и прозрачностью [103]. Однако, имеющиеся рекомендации по обжигу протезов из этой керамики касаются только многочасовых высокотемпературных режимов. Отсутствуют данные о скоростном спекании зубных коронок из отечественных керамических диоксидциркониевых заготовок по экспресс режиму.

Современные научные данные об эффективности ускоренного обжига противоречивы. Одни авторы приветствуют новую методику, другие её критикуют, указывая на снижение прочности готового протеза, неточность цветопередачи.

В связи с вышеизложенным и с учетом важной задачи по импортозамещению в сфере материалов для медицинских целей, представляется целесообразным проведение специального исследования по изучению возможности, целесообразности и эффективности применения

зубных коронок из отечественных заготовок керамики на основе диоксида циркония с использованием технологии скоростного обжига протезов.

### **Цель работы**

Научное обоснование применения зубного протезирования коронками из керамических заготовок отечественного производства на основе диоксида циркония с применением их скоростного обжига.

### **Задачи исследования**

1. Проанализировать данные специальной литературы по режимам ускоренного обжига образцов керамических зубных протезов на основе диоксида циркония и их влиянию на прочностные и эстетические параметры.

2. Исследовать прочность при изгибе отечественных образцов зубных коронок из керамики на основе полупрозрачного диоксида циркония при различных ускоренных режимах их окончательного обжига.

3. Определить изменение цветовых характеристик образцов зубных коронок из зубопротезной керамики на основе полупрозрачного диоксида циркония при изменении режимов их ускоренного обжига.

4. Оценить параметры прозрачности образцов диоксидциркониевой керамики после многочасового и скоростного обжигов.

5. Предложить оптимальную методику скоростного обжига зубных коронок из отечественных заготовок керамики на основе диоксида циркония и апробировать ее в клинике при лечении пациентов с дефектами твердых тканей зубов.

### **Научная новизна**

1. Впервые исследовано влияние ускоренных режимов обжига образцов зубных протезов из отечественных заготовок керамики на основе диоксида циркония «Zisceram T» на показатель прочности при трехточечном изгибе. Установлено разнонаправленное влияние окончательной температуры обжига

образцов зубных протезов из отечественных заготовок керамики на основе диоксида циркония «Ziceram T» на показатель прочности при трехточечном изгибе. При температуре обжига 1480 °С прочность при изгибе составила 581±56 МПа, при повышении температуры до 1500 °С прочность снизилась (580±53 МПа), а при дальнейшем повышении температуры еще на 50°С – прочность существенно повысилась до 642±91 МПа.

2. Впервые исследовано влияние ускоренных режимов обжига образцов зубных протезов из отечественных заготовок керамики на основе диоксида циркония «Ziceram T» на характеристики цвета в системе CIE Lab. Установлены достоверные различия цветовых характеристик при ускоренном и традиционном вариантах обжига: после экспресс-обжига образцы протезов становятся более светлыми.

3. Впервые исследовано влияние ускоренных режимов обжига образцов зубных протезов из отечественных заготовок керамики на основе диоксида циркония «Ziceram T» на показатель их прозрачности. Установлено, что независимо от конечной температуры (в интервале 1480-1550 °С), скорости нагрева (100 или 200 град/мин) и общей продолжительности процесса (20-69 мин) прозрачность образцов зубных протезов из данной керамики ниже, чем после традиционного многочасового обжига.

### **Практическая значимость**

Разработана ускоренная методика изготовления зубных коронок из отечественных керамических заготовок на основе диоксида циркония, что является важным импортозамещающим фактом, повысит эффективность и доступность ортопедического лечения пациентов прочными, эстетичными и биосовместимыми безметалловыми зубными протезами.

Лабораторными и клиническими исследованиями убедительно показана возможность, целесообразность и высокая эффективность ортопедического лечения пациентов с дефектами коронок зубов керамическими коронками,



фрезерованными из отечественных заготовок керамики на основе диоксида циркония «Ziceram T» с применением их скоростного обжига.

В лабораторных исследованиях оптимизированы режимы скоростного обжига диоксидциркониевой керамики для протезирования с использованием отечественных заготовок.

Уточнены показания к применению зубных коронок из отечественных керамических заготовок на основе диоксида циркония с применением их скоростного обжига.

### **Методология и методы исследований**

Для достижения поставленной цели диссертационной работы было проведено комплексное лабораторное и клиническое исследование.

В лабораторной части диссертации применен комплекс современных физико-механических исследований: испытания на прочность при трехточечном изгибе в соответствии с международным стандартом ISO 6872-2018 на испытательной машине «Zwick Roell Z010», Германия; определение цветовых характеристик и показателей прозрачности керамических образцов на отечественном лабораторном цветоанализаторе «Спектрон М» в соответствии с ГОСТ Р 58165-2018 (ISO/TR 28642:2016). В работе исследованы образцы зубных протезов в виде призм, фрезерованные по методике CAD/CAM в зуботехнической лаборатории «Дентсервис» (г. Санкт-Петербург). Методика изготовления образцов и их количество соответствовали требованиям стандартов. По длине и толщине образцы также соответствовали стандартам, а по ширине были больше, чтобы была возможность определять цветовые характеристики на отечественном приборе с апертурой 4 мм. Все результаты подвергали статистической обработке с применением критерия Стьюдента.

Клиническая часть работы основана на сравнительном анализе результатов стоматологического ортопедического лечения двух групп

пациентов общим числом 24 человека, сформированных в соответствии с принципами доказательной медицины с использованием критериев включения, не включения и исключения. Пациентам основной группы с дефектами боковых зубов были изготовлены одиночные коронки с использованием отечественных заготовок керамики на основе диоксида циркония «Zisceram T» с экспресс обжигом по разработанной в лабораторной части диссертации оптимальной методике. В контрольной группе, аналогичной по полу, возрасту, стоматологическому статусу основной группе, керамические коронки готовили из того же отечественного материала, но по традиционному многочасовому технологическому процессу. Все клинические этапы и использованные стоматологические материалы у пациентов обеих групп были аналогичными. Качество ортопедического лечения оценивали на ежемесячных периодических осмотрах в течение полугода, проводя стандартное клиническое обследование, а также с использованием 7 критериев FDI по оценке прочности керамических протезов, их гигиеничности и биосовместимости. Дизайн клинического исследования одобрен Комитетом по этике Медицинского института РУДН (Протокол №16 от 19.03.2020).

### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Режимы ускоренного обжига образцов зубных протезов из отечественных заготовок керамики на основе полупрозрачного диоксида циркония «Zisceram T» разнонаправлено влияют на прочность при трехточечном изгибе, изменяют их цветовые характеристики и снижают прозрачность.
2. Разработана оптимальная методика изготовления керамических коронок из отечественных заготовок на основе полупрозрачного диоксида циркония «Zisceram T» с экспресс обжигом в течение 22 минут с выдержкой 5 минут при температуре 1480°C в вакууме при скорости нагрева 200 град/мин и скорости охлаждения менее 70 град/мин.

3. Клиническими и лабораторными исследованиями убедительно доказана возможность и целесообразность ортопедического лечения пациентов с дефектами боковых зубов монокоронками из полупрозрачного диоксида циркония «Ziceram T» с их скоростным обжигом.

### **Степень достоверности полученных результатов**

Достоверность полученных результатов обоснована комплексностью дизайна лабораторных и клинических исследований. Лабораторные исследования проведены на сертифицированном поверенном оборудовании по стандартным методикам. Клинические исследования проведены в соответствии с принципами доказательной медицины.

Основные положения диссертационного исследования доложены, обсуждены и одобрены на:

- XI Научно-практической конференции молодых ученых «Научные достижения современной стоматологии и челюстно-лицевой хирургии» Москва, ФГБУ НМИЦ «ЦНИИС и ЧЛХ» МЗРФ, 25.09.2020
- Межвузовской конференции «Актуальные вопросы стоматологии» Москва, ФГАОУ ВО «РУДН», 24.11.2020
- Международном симпозиуме "Инновационные технологии в стоматологии" в соавторстве с Лебеденко И.Ю., Вороновым И.Ю., Деевым М.С., Ллака Э., Вердияном С.А., Омск, ФГБОУ ВО ОмГМУ, 04.03.2021
- Всероссийской межвузовской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Актуальные вопросы стоматологии» Москва, ФГБУ ДПО ЦГМА, 27.05. 2021
- Научно-практической конференции ФГБУ НМИЦ «ЦНИИС и ЧЛХ» МЗ РФ совместно с Русановым Ф.С., Москва, 25.02.2022

- Межвузовской научно-практической конференции «Актуальные вопросы стоматологии», Москва, ФГАОУ ВО «РУДН», 31.03.2022

Апробация диссертационной работы проведена на совместном заседании сотрудников кафедры ортопедической стоматологии Медицинского института ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» и лаборатории материаловедения ФГБУ НМИЦ «ЦНИИСиЧЛХ» Минздрава России (19.10.2022).

### **Личное участие автора**

Автор осуществляла подбор тематических информационных источников, анализ и обобщение материалов, подготовку к публикации обзорных и оригинальных статей, тезисов докладов (совместно с соавторами). Готовила образцы керамики из отечественных заготовок «Ziceram T» (спекание при различных режимах на 6 различных импортных печах для «chairside» технологии) и непосредственно участвовала в испытаниях образцов по показателям прочности и эстетичности. Проводила клинический прием пациентов с дефектами коронок зубов, их протезирование коронками из отечественных заготовок диоксида циркония и динамическое наблюдение за результатами ортопедического лечения. Вела всю необходимую документацию, готовила к публикации статьи и выступала с докладами на конференциях.

### **Внедрение результатов исследования**

Результаты исследования используются в учебном процессе на кафедре ортопедической стоматологии Медицинского института ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», а также внедрены в лечебный процесс клиники ООО «Фирма Полидент» департамента здравоохранения города Москвы.

## **Публикации**

По материалам исследования опубликовано 6 печатных работ общим объёмом 32 страницы, из них 2 статьи в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 3 публикации в международной базе научных статей Scopus и одна статья в иных печатных изданиях.

## **Объем и структура диссертации**

Диссертационная работа содержит «Введение», «Обзор литературы», «Материалы и методы исследования», «Результаты собственных исследований», «Заключение», «Выводы», «Практические рекомендации» и «Список литературы». Обзор литературы включает 103 источника, в том числе 36 отечественных авторов и 67 иностранных. Диссертация изложена на 116 страницах компьютерного текста. Диссертация иллюстрирована 16 таблицами, 32 рисунками и фотографиями.

## ГЛАВА 1. ПРИМЕНЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ЗУБНЫХ ПРОТЕЗОВ ИЗ ПРОЗРАЧНОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В современном мире с каждым годом становятся все популярнее CAD/CAM технологии. [21]. Это и методы фрезерования (методы вычитания), и методы 3D печати (методы добавления). В стоматологии эту технологию применяют для повышения качества изготавливаемых конструкций, для экономии времени пациента, для менее инвазивного процесса лечения [30].

В настоящее время существуют два типа CAD/CAM технологий, применяемых в стоматологии: Chairside и Labside. Технология Labside предполагает производство реставраций в зуботехнической лаборатории, тогда как технология Chairside - это технология изготовления реставраций врачом-стоматологом непосредственно у кресла пациента, без привлечения зуботехнической лаборатории. Для технологии Chairside стоматологические фирмы производят большое разнообразие материалов и оборудования [6].

CAD/CAM технологии в стоматологии начали свой путь в 1971 году. Французский ученый и врач Ф. Дюре (F. Duret) был первым, кто разработал стоматологическое устройство CAD/CAM, сделав коронки, основанные на оптическом оттиске зуба и использующие фрезерный станок с числовым управлением [6].

Наибольшую популярность во всем стоматологическом мире получил аппарат CEREC для CAD/CAM технологии Chairside (у кресла пациента), созданный в 1985 году врачом-стоматологом В. Мёрманном (W.H. Mörmann) и инженером М. Брандестини (M. Brandestini) в Университете Цюриха (Швейцария) и прошедший эволюционное развитие от совсем простого CEREC-1 до ультрасовременного CEREC Primescan [18, 19, 79].

В отличие от лабораторных систем, где производство реставраций связано с зуботехнической лабораторией, изготовление реставраций методом chairside позволяет стоматологу завершить все этапы производства реставрации в течение одного приема, не привлекая для ее изготовления стоматологического

техника. В своих статьях и диссертационных работах Вафин С.М., Ковальская Т.В., Горяинова К.Э., Ретинская М.В., Лебеденко И.Ю. и др. [5, 7, 12, 16, 17, 18, 22] подробно описали преимущества компьютерного изготовления керамических протезов непосредственно у кресла пациента: в первую очередь, это экономия времени пациента, так как можно изготовить коронку в одно посещение; вовлеченность пациента в процесс лечения; сниженный дискомфорт при лечении; гарантированное качество реставрации, так как применяются фабричные заготовки; сохранение макета реставрации, что позволяет в любой момент при необходимости отфрезеровать новый протез - точную копию изготовленного ранее.

Для CEREC-коронки выпускаются керамические блоки различных составов: из полевого шпата, из стеклокерамики, из дисиликата лития, из гибридной керамики [7].

Для повышения долговечности зубных протезов и их применения для жевательных зубов необходимо разрабатывать высокопрочные керамические материалы. В последние годы отдается предпочтение керамике на основе диоксида циркония [41]. В диссертационной работе Хвана В.И. [32] подробно описаны преимущества стоматологической керамики на основе диоксида циркония с позиций прочности и биосовместимости. Наряду с этим, Назарян Р.Г. [27] указывает на недостаточную эстетичность диоксидциркониевой керамики – практически полное отсутствие прозрачности, ярко-белый цвет, что требует обязательного дополнительного окрашивания и облицовки. Следует отметить, что данное замечание относится к каркасной керамике на основе диоксида циркония. Обзор литературы по монолитному прозрачному диоксиду циркония проведен и опубликован нами совместно с Дьяконенко Е.Е., Лебеденко И.Ю. и Ллака Э. [16, 17].

В настоящее время стремительно развиваются и совершенствуются керамические материалы для изготовления зубных протезов. Одним из удачных

примеров керамических материалов нового поколения является прозрачный диоксид циркония.

### **1.1 Эволюция стоматологической керамики на основе диоксида циркония**

Диоксид циркония впервые стали применять в медицине в 1969 году в качестве материала для замещения головок тазобедренных суставов. В стоматологии в течение многих лет искали замену металлическим сплавам, эстетика которых была далеко не идеальна, кроме того, у некоторых пациентов металлические сплавы, особенно из неблагородных металлов, вызывали аллергические реакции [9]. В конце двадцатого века керамику на основе диоксида циркония стали применять в стоматологии. Этот материал представлял собой тетрагональный поликристаллический диоксид циркония ( $ZrO_2$ ), стабилизированный оксидом иттрия ( $Y_2O_3$ ) (Y-TZP), и обладал хорошими физико-механическими свойствами (таблица 1).

Таблица 1- Физико-механические свойства диоксида циркония Y-TZP [9]

<b>Свойства материала</b>	<b>Значение</b>
Плотность	6.05 г/см <sup>3</sup>
Твёрдость по Виккерсу	1200 HV
Прочность при изгибе	900 – 1200 МПа
Прочность при сжатии	2000 МПа
Модуль упругости	210 ГПа
Термический коэффициент линейного расширения, ТКЛР	$11 \times 10^{-6}$ 1/К



Основным недостатком этого материала была непрозрачность. Для улучшения эстетики реставраций на основе диоксида циркония на керамические каркасы наносили керамическое покрытие. Чтобы создать место для облицовки, требовалась сошлифовка каркаса и значительное препарирование твёрдых тканей зуба. Кроме того, нередко возникали сколы и отслоение керамической облицовки, что было вызвано остаточными напряжениями, возникшими в процессе обжига керамической массы [74,101].

В попытках свести к минимуму эту проблему было предложено отдельно изготавливать облицовку и каркас фрезерованием, а затем соединять их полимерным цементом (технология фирмы Vita - Rapid Layer). Также была разработана техника напекания фрезерованного керамического покрытия (технология фирмы Ivoclar Vivadent - CAD-on) [27]. Однако исследования показали, что число сколов при нанесении облицовки по технологии CAD-on и традиционном ручном нанесении практически одинаково [57].

На смену облицованным зубным протезам с каркасами из диоксида циркония пришли монолитные конструкции (коронки и мостовидные зубные протезы), которые часто используют для реставраций в боковых отделах зубного ряда. Преимущества монолитных зубных протезов из диоксида циркония во многом определяются тем, что при изготовлении протезов по технологии CAD/CAM используются блоки промышленного производства, отличающиеся высокой степенью однородности. Использование технологии CAD/CAM позволяет снизить время на изготовление зубного протеза и, следовательно, стоимость работы [81].

В настоящее время существует много видов керамики на основе диоксида циркония для изготовления стоматологических реставраций, включая частично стабилизированный диоксид циркония (PSZ), тетрагональный поликристаллический диоксид циркония (TZP), диоксид циркония, упрочнённый оксидом алюминия (ZTA), полностью стабилизированный

кубический диоксид циркония (CSZ). Чаще всего в стоматологии используется тетрагональный поликристаллический диоксид циркония, стабилизированный 3 мол.% оксида иттрия (3Y-TZP), в который введена добавка 0.25% оксида алюминия для предупреждения низкотемпературной деградации. Этот материал обладает высокой прочностью, но неудовлетворительной прозрачностью [78].

Непрозрачность керамики на основе диоксида циркония вызывает проблемы, связанные с эстетикой. Особенно неэстетичными выглядят диоксидциркониевые коронки на фронтальных зубах по соседству с естественными зубами [102].

После десятилетнего периода исследований и разработок, наметился определённый прогресс в улучшении прозрачности керамики на основе диоксида циркония.

## **1.2 Пути повышения прозрачности диоксида циркония**

Для улучшения эстетических свойств коронок из диоксида циркония, в первую очередь для протезирования фронтальной группы зубов, необходимо повышать его прозрачность. Для этого было предложено увеличить плотность диоксида циркония и устранить добавку оксида алюминия в его составе. Исследования показали, что, если толщина зубного протеза составляет более 0.5 мм, то он будет оставаться непрозрачным.

Прозрачность или светопроницаемость материала – это физическое свойство, позволяющее случайно падающему свету проходить через субстрат. Почему диоксид циркония не прозрачен? Светопроницаемость керамики зависит от внутреннего рассеяния, то есть отражения и преломления света внутри материала. Внутреннее рассеяние может возникать в результате присутствия пор, примесей, дефектов и отражения от границ зёрен. Кристаллы тетрагонального диоксида циркония обладают двойным лучепреломлением в результате анизотропии показателя преломления в различных

кристаллографических направлениях [71]. В поликристаллическом диоксиде циркония двулучепреломление ведёт к нарушению непрерывности преломления света на границах зёрен, если соседние зёрна имеют неодинаковую кристаллическую ориентацию. Одновременное отражение и преломление света на границах зёрен приводит к снижению светопропускаемости материала. Для повышения прозрачности было предложено заменить некоторые анизотропные зёрна тетрагонального диоксида циркония изотропными частицами его кубической модификации. Слабой стороной такого подхода было то, что кубический диоксид циркония менее прочен и более хрупок, чем его тетрагональный аналог [94].

Наиболее популярным в стоматологии является диоксид циркония, стабилизированный 3% оксидом иттрия (3Y-TZP). Поскольку он обладает биосовместимостью и высокими физико-механическими свойствами, однако его прозрачность недостаточна. Для получения необходимой прозрачности 3Y-TZP было предложено контролировать химический состав и присутствие центров рассеяния света в микроструктуре материала [85]. На микроструктуру 3Y-TZP оказывает влияние размер частиц порошка, используемого в процессе уплотнения. Для уменьшения числа пор и размеров зёрен в структуре материала в качестве сырья используют порошки с частицами микронных и наноразмеров. Если размер зёрен будет меньше длины волны видимого света (380 – 789 нм), это станет препятствовать рассеянию света в структуре материала, что позволит улучшить прозрачность 3Y-TZP [66]. Светопропускаемость диоксида циркония увеличивается с уменьшением размера зёрен и толщины реставрации. Чтобы реставрация выглядела прозрачной, при её толщине 1.3 мм средний размер частиц в материале 3Y-TZP должен составлять не более 82 нм; при толщине 1.5 мм и 2.0 мм – 77 нм и 70 нм, соответственно [102].

В обзоре [55] авторы, обобщив различные исследования, выделили 5 возможных способов повышения прозрачности стоматологического диоксида циркония.

*Первым способом* является увеличение размеров зёрен материала. Чем крупнее зерно материала, тем меньше количество проходящего света будет рассеиваться по границам зёрен. В то же время, чем крупнее зерно, тем больше склонность материала к низкотемпературной деградации. Если размер зерна больше 1 мкм, может произойти самопроизвольный фазовый переход тетрагонального диоксида циркония в моноклинную форму. Это приводит к снижению прочности керамики.

*Второй способ* повышения прозрачности, напротив, основан на уменьшении размеров зёрен. Было проведено исследование, показавшее, что при уменьшении размера частиц в материале до 82 нм и толщине образцов 1.3 мм, светопроницаемость керамики на основе диоксида циркония почти такая же, как у полевошпатного фарфора. При увеличении размера частиц от 0.9 до 1.4 мкм прочность при изгибе линейно увеличивается от 650 до 1000 МПа. После критического размера зерна 1.4 мкм прочность на разрыв снова уменьшается.

*Третий способ* – это повышение количества стабилизирующей добавки оксида иттрия, что приводит к увеличению кубической модификации диоксида циркония в структуре материала. В обычном материале 3Y-TZP содержится 5.18 вес. %  $Y_2O_3$  (3 моль. % оксида иттрия) и  $\geq 90\%$  тетрагонального диоксида циркония. По мере увеличения добавки оксида иттрия увеличивается процентное содержание кубической фазы, что приводит к повышению прозрачности. Компания 3M ESPE в 2014 году на ежегодной конференции в Северной Каролине представила экспериментальный вариант прозрачного диоксида циркония, в котором содержится 7.1 вес. % оксида иттрия. Этот материал состоит на 75% из тетрагонального диоксида циркония и на 25% из кубического, а средний размер частиц в этом материале равен 150 нм.

*Четвёртым способом* повышения прозрачности диоксида циркония является регулирование количества примесей. Керамика – это оптически неоднородный материал. Присутствие даже 0.05% примесей при размере зёрен в диапазоне от 200 до 400 нм приводит к существенному снижению прозрачности материала. Оксид алюминия добавляют в состав материала для минимизации формирования пор в процессе спекания. Ещё одним назначением добавки  $Al_2O_3$  является стабилизация тетрагонального диоксида циркония и предупреждение явления низкотемпературной деградации. Разработка материала со сниженным количеством  $Al_2O_3$  ведёт к повышению прозрачности материала, но может привести к ускоренной низкотемпературной деградации. Введение оксида лантана в состав материала в количестве 0,2 мол. %, напротив, позволяет повысить прозрачность материала.

И, наконец, *пятый способ* повышения прозрачности материала состоит в повышении температуры спекания. Некоторые производители выбирают конечную температуру спекания диоксида циркония выше  $1550^{\circ}C$ . Однако, такое повышение температуры может привести к снижению прочности материала при изгибе и стабильности диоксида циркония [55]. Понимание того, как повысить прозрачность материала, позволило разработать разные стратегии производства прозрачного диоксида циркония.

### **1.3 Свойства прозрачного диоксида циркония**

#### **1.3.1 Физико-механические свойства прозрачного диоксида циркония**

Повышение объема стабилизирующей добавки с 3 мол. % (3Y-TZP) до 4 мол. % (4Y-TZP) и до 5 мол. % (5Y-TZP) способствовало увеличению количества кубической модификации и позволило сократить лучепреломление вдвое, в следствии чего, ощутимо выросла процентная составляющая прозрачности диоксида циркония. Однако при этом существенно снизилась прочность и трещиностойкость материала, поскольку кубический диоксид циркония не подвержен трансформационному упрочнению [100]. Введение в

качестве стабилизирующих добавок 0.2 мол.%  $\text{La}_2\text{O}_3$  повышает прозрачность материала и его устойчивость к старению, но снижает его прочность [100], а введение оксида алюминия повышает прочность материала, но одновременно снижает его прозрачность [43].

В таблице 2 представлены прочность при изгибе и трещиностойкость стандартной керамики (3Y-TZP) и более прозрачных её вариантов (4Y-PSZ, 5Y-PSZ) [100].

Таблица 2 - Физико-механические свойства керамики на основе диоксида циркония – стандартной (3Y-TZP) и более прозрачной (4Y-PSZ, 5Y-PSZ)

Наименование материала	Производитель	Состав	Содержание кубической фазы диоксида циркония, %	Прочность при изгибе (МПа)	Трещиностойкость (МПа $\times$ м <sup>1/2</sup> )
<b>Lava Frame</b>	3M ESPE	3Y-TZP*	< 15	1200- 1500	3.5–4.5
<b>Prettau Zirconia</b>	Zirconzhan	3Y-TZP	< 15	1200- 1400	3.5–4.5
<b>KaVo Everest ZH</b>	KaVo Dental	3Y-TZP	< 15	1200- 1400	3.5–4.5
<b>Vita YZ T</b>	Vita Zahnfabrik	3Y-TZP	< 15	1100- 1300	3.5–4.5
<b>Zenostar MO</b>	Wieland Dental	3Y-TZP	< 15	1000- 1300	3.5–4.5
<b>Lava Plus</b>	3M ESPE	3Y-TZP	< 15	1100–1300	3.5–4.5
<b>Cercon ht</b>	Dentsply Sirona	3Y-TZP	< 15	1100–1300	3.5–4.5
<b>Vita YZ HT</b>	Vita Zahnfabrik	3Y-TZP	< 15	1100–1200	3.5–4.5
<b>Bruxir Full-Strength</b>	Glidewell	3Y-TZP	< 15	1100–1200	3.5–4.5
<b>Zpex</b>	Tosoh	3Y-TZP	< 15	900–1100	3.5–4.5
<b>Zenostar T</b>	Wieland Dental	3Y-TZP	< 15	900–1100	3.5–4.5
<b>Luxisse Dental</b>	Heany	3Y-TZP	< 15	900–1100	3.5–4.5

<b>Katana HT/ML</b>	Kuraray Noritake	3Y-TZP	< 15	900–1100	3.5–4.5
<b>Zpex 4</b>	Tosoh	4Y-PSZ **	> 25	800–1000	2.5–3.5
<b>ZirCAD MT</b>	Ivoclar Vivadent	4Y-PSZ	> 25	800–900	2.5–3.5
<b>Zenostar MT</b>	Wieland Dental	4Y-PSZ	> 25	600–800	2.5–3.5
<b>Katana ST/STML</b>	Kuraray Noritake	4Y-PSZ	> 25	600–800	2.5–3.5
<b>Lava Esthetic</b>	3M ESPE	5Y-PSZ	> 50	700–900	2.2–2.7
<b>Cercon xt</b>	Dentsply Sirona	5Y-PSZ	> 50%	700–800	2.2–2.7
<b>DD cube X2</b>	Dental DirektM	5Y-PSZ	> 50%	500–800	2.2–2.7
<b>BruxZir Anterior</b>	Glidewell	5Y-PSZ	> 50%	600–700	2.2–2.7
<b>Prettau Zirconia</b>	Zirconzhan	5Y-PSZ	> 50%	600–700	2.2–2.7
<b>Katana UT/UTML</b>	Kuraray Noritake	5Y-PSZ	> 50%	500–600	2.2–2.7
<b>Zpex Smile</b>	Tosoh	5Y-PSZ	> 50%	400–500	2.2–2.7
<b>Luxisse +</b>	Heany	5Y-PSZ	> 50%	400–500	2.2–2.7

\* TZP – тетрагональный диоксид циркония частично стабилизированный (Tetragonal Zirconia Partially Stabilized).

\*\* PSZ – частично стабилизированный диоксид циркония (Partially Stabilized Zirconia).

В работе [72] сравнили прочность при изгибе, трещиностойкость и микротвёрдость образцов из прозрачного диоксида циркония до и после окрашивания разными красителями. Показано, что окрашивание рассматриваемыми красителями не влияет на прочность при изгибе и трещиностойкость материала, однако в случае микротвёрдости это не так. Микротвёрдость по Виккерсу контрольного неокрашенного образца из прозрачного диоксида циркония, которая составляет 1350 HV, после

окрашивания образцов красителями и последующего спекания снижается на 0.3–5.7 %.

### 1.3.2 Оптические свойства прозрачного диоксида циркония

Основными оптическими свойствами материала являются его цвет, опалесценция, флуоресценция и прозрачность. На оптические свойства прозрачного диоксида циркония влияют размеры зёрен, присутствие пор и фазовый состав материала. В работе Shahmiri, Reza et al. подробно рассмотрено влияние внутренних и внешних факторов на оптические свойства прозрачного диоксида циркония [88]. Опалесценцию (OP) прозрачного диоксида циркония рассчитывали по формуле:  $OP = [(CIE_{aT}^* - CIE_{aR}^*)^2 + (CIE_{bT}^* - CIE_{bR}^*)^2]$ , где T - цвет в проходящем свете, а R - цвет в отражённом свете на чёрном фоне. Как уже упоминалось ранее, глазурование реставрации приводит к снижению опалесценции материала.

В 2018 году была исследована прозрачность двух новых материалов на основе кубического диоксида циркония, Katana STML и Katana UTML (Kuraray Noritake Dental Inc) в сравнении с дисиликатом лития IPS e.max CAD LT (Ivoclar Vivadent AG). Для исследования были изготовлены коронки моляров по технологии CAD/CAM. Прозрачность оценивали с помощью цифрового фоторадиометра HD 9221/S3 (Delta Ohm Srl). Прозрачность материалов Katana STML и Katana UTML оказалась более высокой, чем у IPS e.max CAD LT. Прозрачность диоксида циркония была достигнута за счёт полного избавления от тетрагональной фазы [68].

*Химические свойства.* К химическим свойствам относятся изменение окраски материала, его эрозия и химическая растворимость. Изучены химические свойства прозрачного диоксида циркония и проведено сравнение его с другими материалами для изготовления реставраций по технологии CAD/CAM. Отмечено, что стеклокерамические материалы для CAD/CAM поддаются взаимодействию с молочной кислотой при температуре 60°C, с раствором KOH



при температуре 60°C, и с физиологическим раствором при температуре 90°C, в то время как диоксид циркония с этими растворами не взаимодействует. Гибридные полимеры подвержены дисколорации в красном вине и родамине В при температуре 37°C, в то время как прозрачный диоксид циркония не меняет свою окраску. Сделано заключение о том, что высокопрозрачный диоксид циркония обладает наиболее высокой химической стабильностью из всех материалов для изготовления реставраций по технологии CAD/CAM [43].

#### **1.4 Лабораторные процедуры изготовления зубных протезов из прозрачного диоксида циркония**

К лабораторным этапам изготовления протезов из монолитного диоксида циркония можно отнести следующие этапы: выбор подходящей заготовки (блока), виртуальное моделирование реставрации, фрезерование полуспечённого блока, окрашивание, обжиг, окончательная обработка (полировка и глазурирование).

Такие процедуры как выбор заготовок, виртуальное моделирование и фрезерование - это сходные для любого керамического материала, а окрашивание подробно описано в статье Дьяконенко Е.Е. и Лебеденко И.Ю. [9], считаем важным остановиться на этапах обжига и окончательной обработки.

Традиционно обжиг протезов на основе диоксида циркония занимает много времени, поскольку требует медленного нагрева и охлаждения (обычно скорость подъёма температуры составляет 5 - 10°C/мин), а также длительной выдержки при конечной температуре. Такой режим позволяет получать прочный, но непрозрачный материал. Для того чтобы отвечать требованиям времени и обеспечить возможность изготовления реставрации по технологии CAD/CAM за один приём пациента, были разработаны новые протоколы быстрого и сверхбыстрого спекания материала. Более того, быстрые протоколы

обжига препятствуют росту зёрен диоксида циркония, что позволяет улучшить прозрачность материала [68].

В работе Ersoy N. Et al. было исследовано влияние режима обжига на размер зёрен диоксида циркония и его прочность при изгибе [52]. Из стандартных и высокопрозрачных заготовок In-Coris ZI и In-Coris TZI, Sirona Dental Systems GmbH (Германия) высокоскоростной алмазной пилой Isomet 1000 (Buehler, Иллинойс, США) были выпилены образцы в форме балок (по 60 из каждого материала). Образцы были разбиты на шесть групп в зависимости от температуры обжига (1510-1580°C), времени выдержки при конечной температуре (10-120 мин) и общего времени обжига (8-10 ч). Размеры зёрен образцов оценивали на сканирующем электронном микроскопе, а фазовые переходы с помощью рентгеновского дифрактометра. Было установлено, что спечённые материалы имеют одинаковую структуру независимо от режима обжига, однако при более высокой температуре и коротком времени спекания прочность материала при изгибе повышается (от 579.7 МПа до 904.2) [52].

В работе Ebeid K., с соавторами исследовали влияние режимов обжига на прозрачность и прочность при изгибе прозрачной диоксидциркониевой керамики Bruxzir (Glidewell, Германия) [51]. Авторы изготовили фрезерованием 90 дисков диаметром 15 мм и толщиной 1 мм. Диски разделили на группы в зависимости от температуры обжига (1460°C, 1530°C, 1600°C) и выдержки при конечной температуре (1, 2, и 4 ч). Было показано, что режим обжига керамики Bruxzir не оказывает влияние на её прочность и твёрдость поверхности, но по мере повышения температуры и увеличения времени выдержки при конечной температуре достоверно увеличивается средний размер зёрен.

Данные представленных авторов противоречивы. В первом случае структура материала не зависит от режима обжига, во втором – размер зёрен увеличивается при увеличении температуры и времени выдержки; в первом случае режим обжига влияет на прочность материала, во втором – не влияет. Возможно, это объясняется тем, что авторы испытывали диоксид циркония от

разных производителей. Следовательно, режимы обжига, в частности, температуру обжига и выдержку, следует подбирать индивидуально для каждого нового материала.

После обжига коронок из диоксида циркония, как стандартного, так и быстрого, необходима финишная обработка коронки (шлифовка, полировка, глазурирование). Было установлено, что глазурь, более мягкая, чем диоксид циркония, со временем стирается, становится шероховатой, что приводит к стиранию антагонистов, поэтому более предпочтительной является полировка [61]. На стоматологическом рынке имеются наборы для окончательной обработки поверхности диоксида циркония в два – три этапа, в которые входят инструменты как для шлифовки, так и для полировки до высокого блеска. Рекомендованные скорости вращения полировальных инструментов – от 8000 до 20 000 об/мин, а диапазон предлагаемых паст очень широк [87].

В работе Natanaka G. с соавторами исследовали окончательную обработку двух видов прозрачной керамики на основе диоксида циркония, PSZ (частично стабилизированный диоксид циркония) и FSZ (полностью стабилизированный диоксид циркония) [60]. Образцы разбили на следующие группы: покрытие глазурью без шлифовки; только шлифовка без покрытия глазурью; шлифовка плюс полировка резиновым колёсиком с частицами алмаза; шлифовка плюс полировка резиновым колёсиком с частицами алмаза плюс покрытие глазурью; шлифовка плюс покрытие глазурью. Было установлено следующее: шлифовка, а также шлифовка с последующей полировкой повышает прочность материала PSZ, но не влияет на FSZ; искусственное старение повышает прочность PSZ, но не влияет на прочность FSZ; покрытие глазурью снижает прочность при изгибе обоих материалов; шлифовка с последующей полировкой позволяет получить гладкую поверхность материала без уменьшения его прочности [55]. Тем не менее, полировка плотнопечённого диоксида циркония отнимает много времени и влечёт за собой быстрый износ полиров и стирание материала полировальными инструментами. В работе Pfefferle R., с соавторами было

предложено проводить шлифовку и полировку реставраций из прозрачного диоксида циркония в полуспечённом состоянии [84]. Были изготовлены фрезерованием 108 образцов из прозрачного диоксида циркония Ceramill Zolid HT+ (Amann Girrbach, Австрия) диаметром 16 мм, высотой  $1 \pm 0.05$  мм. Образцы разделили на 9 групп по 12 в каждой. В семи группах образцы отполировали в предварительно спечённом состоянии: (1) фетровым колёсиком; (2) фетровым колёсиком в сочетании с полировальной пастой; (3) полировальной щёткой с козьим волосом; (4) полировальной щёткой с козьим волосом в сочетании с полировальной пастой; (5) инструментами из специального набора для полирования в неспечённом состоянии; (6) универсальными полирами; (7) мелкозернистой наждачной бумагой. После обжига образцы в каждой группе были разделены на две подгруппы (по 6 в каждой), в одной из которых их подвергали тонкой полировке, а в другой – шлифовке и полировке. В группе (8) окончательная обработка образцов была проведена в плотноспечённом состоянии (после обжига). Для выполнения этой процедуры использовали набор для двухэтапной полировки (грубой и тонкой). В группе 9 образцы не полировали. Результаты исследования показали, что полировка прозрачного диоксида циркония в полуспечённом состоянии улучшает оптические и прочностные свойства материала; повышенная шероховатость поверхности в сочетании с использованием полировочных паст ассоциируется с уменьшением прозрачности; двухэтапный протокол полирования снижает шероховатость, позволяет получить нужное качество поверхности; использование двухэтапного протокола полирования позволяет повысить прочность прозрачного диоксида циркония при изгибе [84].

Лабораторные процедуры изготовления монолитных реставраций из прозрачного диоксида циркония, в частности, обжиг и окончательная обработка, тоже оказывают влияние на его прозрачность, как показали исследования авторов, чьи работы были представлены в данном разделе.

## **1.5. Факторы, влияющие на прозрачность зубных протезов из диоксида циркония**

На прозрачность зубных протезов из диоксида циркония могут влиять три группы факторов, а именно, состав и свойства материала, лабораторные процедуры его изготовления и клинические факторы. Факторы, относящиеся к составу и свойствам материала (химический состав материала и соотношение фаз; микроструктура материала; размер зерен; рассеяние света на границах зерен; пористость; примеси и дефекты) и лабораторным процедурам его изготовления (технология изготовления заготовок; режимы обжига) описаны нами в разделах 1.3 и 1.4, соответственно. К клиническим факторам, влияющим на прозрачность оксидциркониевого протеза, относятся: толщина стенки реставрации, способ обработки поверхности зубного протеза и её стирание, низкотемпературная деградация [83].

### **1.5.1 Толщина стенки протеза из прозрачного диоксида циркония**

В работе Wang F., с соавторами была изучена прозрачность образцов в форме дисков, изготовленных из 8 видов стеклокерамики и 5 видов керамики на основе диоксида циркония повышенной степени прозрачности (Cercor Base, Zenotec Zr Bridge, Lava Standard, Lava Standard FS3, Lava Plus), в зависимости от толщины [99]. Для оценки прозрачности использовали показатель прозрачности (TP), который впервые внедрил в стоматологическую практику в 1995 году В. Джонстон с соавторами для оценки прозрачности челюстно-лицевых эластомеров [67]. TP рассчитывается на основании цветовых различий для образцов на чёрном и белом фоне. В работе Wang F., с соавторами было установлено, что между показателем прозрачности TP и толщиной материала существует пропорциональная зависимость, то есть прозрачность образца обратно пропорциональна его толщине [99]. В работе Pekkan G. с соавторами отмечено, что прочность монолитных реставраций из диоксида циркония находится в допустимых пределах при толщине материала в диапазоне от 0.5 до

0.9 мм, однако уменьшать толщину реставрации с целью повышения её прозрачности следует очень осторожно, учитывая тип и цвет культи опорного зуба, которые также оказывают влияние на окончательный цвет коронки [83].

### **1.5.2 Окрашивание монокристаллических зубных протезов из керамики на основе диоксида циркония**

В работе [Sulaiman T. et al.] показано, что окрашивание влияет на оптические свойства диоксида циркония, поскольку вызывает кристаллографические и микроструктурные изменения в материале [91]. Авторы оценивали влияние наружного окрашивания на прозрачность частично и полностью стабилизированного диоксида циркония, и пришли к выводу, что прозрачность последнего после окрашивания значительно уменьшается. Авторы объясняют это тем, что более крупные зёрна и границы зёрен полностью стабилизированного диоксида циркония поглощают большее количество окрашивающей жидкости, что приводит к снижению прохождения света. С другой стороны, авторы работы Kurtulmus-Yilmaz S. et al. полагают, что наружное окрашивание не влияет на прозрачность цирконового реставраций [73]. По мнению авторов работы Alp G. et al. цирконовые реставрации, окрашенные снаружи, при толщине каркаса 1, 1.5 и 2 мм, обладают значительно большей прозрачностью, чем предварительно окрашенные пропиткой красителем [39]. Авторы работы [Rekkan G., Özcan M.] полагают, что для того, чтобы получить оптимальную прозрачность, в клинической практике технику окрашивания (наружное окрашивание или окрашивание погружением) следует подбирать в зависимости от конкретного типа стоматологической керамики на основе диоксида циркония [83].

### **1.6 Низкотемпературная деградация диоксида циркония**

Зубные протезы постоянно находятся в агрессивной среде полости рта и пищевых продуктов. Поэтому чрезвычайно важным является изучение особого свойства керамики на основе диоксида циркония – подверженности

низкотемпературной деградации. Низкотемпературная деградация (НТД) – это спонтанный фазовый переход из тетрагональной модификации диоксида циркония в моноклинную, возникающий со временем при низкой температуре в присутствии влаги [90]. НТД сопровождается увеличением объёма зёрен, что вызывает увеличение шероховатости поверхности и появление микротрещин. Эти микротрещины действуют так же, как поры и дефекты, то есть, усиливают рассеяние падающего света, что приводит к снижению прозрачности материала [54]. В работе Camposilvan E, et al. изучили деградацию трех новых прозрачных материалов на основе диоксида циркония в сравнении со стандартным 3Y-TZP [45]. Ранее было установлено, что один час искусственного старения диоксида циркония при 134°C и давлении пара 2 бар приблизительно соответствует двум – четырём годам клинической службы материала во рту пациента при температуре 37°C [48]. Основываясь на этой информации, авторы подвергли изучаемые материалы искусственному старению в течение 5 и 7 ч в автоклаве при температуре 134°C и давлении пара 2 бар. В результате было установлено, что прозрачная диоксидциркониевая керамика с частичным содержанием кубической модификации диоксида циркония не подвержена низкотемпературной деградации, однако ее прочность ниже, чем у стандартного 3Y-TZP.

### **1.7 Показания к применению зубных протезов из прозрачного диоксида циркония**

Прозрачный диоксид циркония является относительно новым материалом, поэтому данных о его клинической службе в отдалённые сроки лечения пока нет. На сайте компании Pritidenta указано, что высокопрозрачный кубический диоксид циркония подходит для изготовления монолитных зубных протезов протяжённостью до трёх единиц [85]. В инструкции к прозрачному диоксиду циркония Katana STML и Katana UTML содержится информация о том, что эти материалы применимы для изготовления виниров, вкладок/накладок, коронок

передних зубов, мостовидных протезов протяжённостью до трёх единиц, и мостовидных протезов большей протяжённости [69]. Прозрачный диоксид циркония Cercon®xt показан для изготовления коронок и мостовидных протезов из 3-х единиц, устанавливаемых в передние и жевательные области зубного ряда; Cercon®ht – для изготовления коронок, первичных телескопических коронок, мостовидных протезов протяжённостью не более 6 единиц (с не более, чем двумя промежуточными единицами между опорными коронками) [46]. Прозрачный диоксид циркония VITA YZ HT предназначен для изготовления одиночных коронок и полного восстановления анатомии в реставрациях, устанавливаемых в передние и жевательные области зубного ряда. Были выявлены также следующие противопоказания для применения прозрачного диоксида циркония, общие для всех вариантов этого материала: более двух промежуточных единиц между опорными коронками, парафункциональные привычки, в частности скрежетание зубами и стискивание зубов, невыполнение процедур гигиенического ухода за полостью рта, недостаточное количество твёрдой ткани опорных зубов [46, 69, 85, 97]. На основании изложенного можно предположить, что на данный момент времени не существует единых строгих показаний к применению прозрачного диоксида циркония, показания различаются в зависимости от типа прозрачного диоксида циркония и фирмы-производителя материала, а также состояния пародонта у пациентов и их парафункциональных привычек. Сроки клинической службы прозрачного диоксида циркония при длительном лечении остаются невыясненными, и ряд авторов подчёркивают необходимость проведения дальнейших клинических исследований реставраций из прозрачного диоксида циркония.

Таким образом, для точного определения показаний к применению прозрачного диоксида циркония необходимо проведение дальнейших клинических исследований.



Прозрачный диоксид циркония сочетает в себе хорошую прочность с улучшенной эстетикой, достигаемой за счёт повышенной прозрачности материала, и его применение в клинической практике будет расширяться.

### **1.8 Технологии изготовления зубных протезов у кресла пациента (CAD/CAM технологии) и возможность их применения с использованием диоксида циркония**

Еще несколько лет назад, невозможно было представить себе коронку, изготовленную за несколько часов у кресла пациента из диоксида циркония, по той причине, что отфрезерованную коронку из полуспеченного материала необходимо подвергнуть окончательному обжигу (синтеризации) в печи при высоких температурах в течение 10-12 ч [37]. В последние годы произошёл революционный скачок в технологии синтеризации керамики на основе диоксида циркония [37, 41, 47, 68, 89].

Недавнее внедрение печей скоростного спекания и разработка новых протоколов скоростного режима обжига существенно сократили время спекания циркониевой керамики (с 6 ч до 10 мин), что позволяет изготавливать оксидциркониевые реставрации всего за один визит к стоматологу. Такая печь со скоростным режимом спекания (SpeedFire, Dentsply Sirona) была представлена на рынке 2 года назад и за короткий период завоевала высокую популярность среди стоматологов. По сравнению с обычными агломерационными печами, где тепло генерируется электрическими резистивными нагревательными элементами, печь SpeedFire генерирует тепло за счет электромагнитной индукции [47]. Индукционная нагревательная катушка окружает тело восприимчивого элемента, обычно состоящего из циркония или графита, которое, в свою очередь, окружает предварительно спеченную оксидциркониевую керамику.

*Проблемы экспресс-синтеризации.* Известно, что быстрые скорости нагрева и охлаждения, а также более короткое время выдержки при спекании влияют на микроструктуру и свойства диоксида циркония. Изменения при

спекании влияют на следующие характеристики монокристаллического диоксида циркония: микроструктуру, механические свойства, оптические свойства, износостойкость и низкотемпературное термическое разложение. Было показано, что зерна стали значительно больше, а поры присутствовали, когда два материала из диоксида циркония (Prettau Anterior и Zpex Smile) были спечены с помощью программы высокоскоростного спекания. По данным Лоусон с соавторами из 3 материалов - два материала из диоксида циркония стали менее прозрачными и менее прочными при использовании высокоскоростной программы спекания, тогда как третий не пострадал. [37, 89]. Поэтому разработка оптимальных режимов скоростного обжига конкретных керамических материалов на основе диоксида циркония носит ярко выраженный научно-практический характер.

Стоматологическое сообщество до сих пор не в полной мере приняло применение chairside технологии, несмотря на очевидные преимущества этой технологии [95]. Общие причины связаны с высокими начальными и эксплуатационными расходами, необходимостью получения практикующими врачами навыков работы с новым оборудованием и заменой традиционных этапов, которые они изучили в стоматологической школе и к которым привыкли, а также необходимостью освоения врачами методик индивидуализации керамических зубных протезов [59].

Для оценки актуальности изготовления оксидциркониевых коронок по chairside технологии мы провели специальное исследование в базе данных PubMed. Сформировали запрос по основным ключевым словам: «chairside zirconia» за 12 лет, начиная с 2009 года. Всего за этот период компьютер выдал по выбранным ключевым словам 81 публикацию, причём в период с 2009 по 2015 год по этой теме публиковалось в среднем всего по 3 статьи в год, начиная с 2016 по 2019 год – уже по 14 статей в год, а в 2020 году вышло 20 статей. Следует отметить, что в 2021-2022 годах вышло еще 23 статьи. Полученные

результаты наглядно свидетельствуют о возрастающем интересе к данной проблеме.

### **1.9 Отечественные зубопротезные керамические материалы на основе прозрачного диоксида циркония**

В Российской Федерации диоксид циркония был выпущен и зарегистрирован тремя разными фирмами - Белгородская фирма ВладМиВа, Новосибирский завод НЭВЗ, Санкт-Петербургское предприятие «Циркон Керамика», но на сегодняшний день производится только фирмой «Циркон керамика». На сайте фирмы «Циркон Керамика» представлено 5 типов стоматологических материалов на основе диоксида циркония в 16 цветах по шкале «Вита». Эти материалы изготавливают в форме диска диаметром 95 мм и 98.5 мм. В инструкциях к указанным отечественным материалам рекомендуются режимы длительного высокотемпературного обжига в течение 12-14 ч. Отсутствуют исследования о влиянии скоростного спекания на образцы отечественных материалов на основе диоксида циркония [103].

Анализ специально подобранной литературы по теме «Применение зубных коронок из керамики на основе диоксида циркония с использованием chairside технологии» показал, что эта тема является очень актуальной. За последние 10 лет число публикаций по этой теме увеличилось в несколько раз. Для практической реализации chairside-технологии при изготовлении коронок из диоксида циркония многими фирмами разработаны и выпускаются фрезерные устройства и печи для быстрой синтеризации диоксида циркония, а также целый спектр материалов на основе диоксида циркония. Однако анализ специальной литературы показал, что разные производители используют различные технологические подходы к изготовлению прозрачных цирконовых блоков для целей ортопедической стоматологии, отличающиеся способом получения nano порошков диоксида циркония, оборудованием и методами формования блоков, режимами обжига, средствами технического контроля. Это

приводит к существенным различиям выпускаемых заготовок из прозрачного диоксида по оптическим и физико-механическим свойствам, склонности к низкотемпературной деградации, показаниям к клиническому применению. В частности, это относится к прозрачности, которая является одним из важнейших свойств материала, обуславливающих эстетическую привлекательность реставраций. Получены первые отдаленные результаты (3-5 лет) клинического применения зубных протезов из диоксида циркония, изготовленные по технологии быстрого спекания [38].

В РФ налажен выпуск заготовок из диоксида циркония с широким ассортиментом прозрачности и цвета, однако для широкого внедрения этого нового отечественного материала в клиническую практику необходим поиск оптимальных режимов экспресс-спекания, обеспечивающих достаточную прочность и эстетичность изготовленных коронок из диоксида циркония. Разработка таких режимов имеет не только научное, но и важное практическое значение. Обзор литературы показывает достаточную разработанность клинических процедур при использовании коронок из диоксида циркония по chairside технологии, в частности показано, что монолитные реставрации требуют меньшего препарирования зубов [96].

Таким образом, в условиях необходимости импортозамещения материалов для медицины (приказ № 655 от 31.03.2015 Приказ об утверждении плана мероприятий по импортозамещению в отрасли медицинской промышленности Российской Федерации) поиск оптимальных режимов экспресс-спекания для достаточной прочности и эстетичности изготовленных коронок из диоксида циркония российского производства имеет не только научное, но и важное практическое значение.

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1. Материалы и методы лабораторных исследований

#### 2.1.1. Характеристика стоматологического материала на основе диоксида циркония отечественного производства «Ziceram T»

В диссертационном исследовании проведено многогранное изучение керамического материала на основе диоксида циркония «Ziceram T» (Циркон Керамика, Санкт-Петербург). Данный материал выпускается в виде дисков диаметром 98,5 мм различных цветов, различной толщины из исходного сырья японской фирмы TOSOH. Внешний вид заготовки представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 - Внешний вид заготовки стоматологической керамики на основе диоксида циркония «Ziceram T» (Циркон Керамика, Санкт-Петербург)

Фирма Циркон Керамика, Санкт-Петербург выпускает много разновидностей стоматологических керамических дисков на основе диоксида циркония [103]. Мы остановили свой выбор на полупрозрачном материале «Ziceram T», так как по данным сайта компании материал «Ziceram T» предназначен для изготовления редуцированных коронок, монолитных коронок для моляров и премоляров, коронок на абатменты, для гибридных абатментов,

мостовидных протезов до 16 единиц. Химический состав материала «Ziceram T» по данным сайта фирмы производителя представлен в таблице 4 [103].

Таблица 4 - Химический состав стоматологической керамики на основе диоксида циркония «Ziceram T»

Компоненты	Массовый процент
$ZrO_2+HfO_2+Y_2O_3+Al_2O_3$	>99.9
$Y_2O_3$	5.2
$Al_2O_3$	0.05
$SiO_2$	$\leq 0.02$
$Fe_2O_3$	$\leq 0.01$

На сайте фирмы производителя приведены основные физико-механические параметры этого материала (Таблица 5) [103].

Таблица 5 - Физико-механические свойства стоматологической керамики «Ziceram T»

Свойства материала «Ziceram T»	
Прозрачность	41 %
Классификация по ISO 6872:2015	Тип II класс 5
Прочность на изгиб, МПа	>1100
Коэффициент термического расширения, 10 <sup>-6</sup> К <sup>-1</sup>	9,9±0,2
Трещиностойкость, МПа × м <sup>1/2</sup>	5,0
Твердость (Hv10)	1250
Плотность до спекания, г/см <sup>3</sup>	3,22
Плотность после спекания, г/см <sup>3</sup>	6,08

Материал «Ziceram T» выпускается в виде заготовок для компьютерного фрезерования 16 цветов по шкале расцветки VITA Classical.

В наших исследованиях мы использовали образцы стоматологической керамики на основе диоксида циркония «Zisceram T» цвета А2 потому, что данный цвет наиболее востребован в ортопедической стоматологии. В качестве режимов стандартного (традиционного окончательного обжига («синтеризации»)) использовали режимы, разработанные совместно с Э. Ллака - скорость подъема температуры 8 градусов в минуту, выдержка при температуре 1550 °С в течение 120 минут, скорость охлаждения 8 градусов в минуту. Общее время программы около 500 минут.

Материал «Zisceram T» разрешен к клиническому применению на основании регистрационного удостоверения Росздравнадзора № РЗН 2018/6961.

### **2.1.2 Характеристика образцов стоматологических керамик на основе диоксида циркония для физико-механических испытаний**

Физико-механические испытания образцов стоматологических керамик на основе диоксида циркония принято проводить по международному стандарту ISO 6872:2015/2018.

Согласно этому нормативному документу образцы должны иметь следующие размерные параметры:

(1) ширина  $w = (4 \pm 0,2)$  мм;

(2) толщина  $b = (2,1 \pm 1,1)$  мм (рекомендуется 3,0 мм; стороны, перпендикулярные нагрузке, должны быть параллельны);

(3) длина = от 14 до 44 мм.

Возможна фаска =  $(0,12 \pm 0,03)$  мм.

Для того, чтобы использовать образцы не только для проведения испытаний прочности на изгиб, но и так же для изучения их оптических свойств мы изготавливали видоизмененные образцы - большей ширины - 5 мм, так как диаметр рабочего объектива лабораторного спектрофотометра «Спектром М» равен 4 мм. Образцы были отфрезерованы с прогнозируемой усадкой 28%, чтобы после обжига размеры образцов были 2,7×5,2×27 мм для

изучения физико-механических свойств и цветовых характеристик и размерами 1,0×5,2×27 мм для определения прозрачности.

Фрезерование образцов из стоматологической керамики на основе диоксида циркония «Ziceram T» проведено в зуботехнической лаборатории «Дентсервис» под руководством Дмитрия Сергеевича Попова, которому выражаем глубокую благодарность. Общий вид керамических образцов до спекания представлен на рисунке 2.

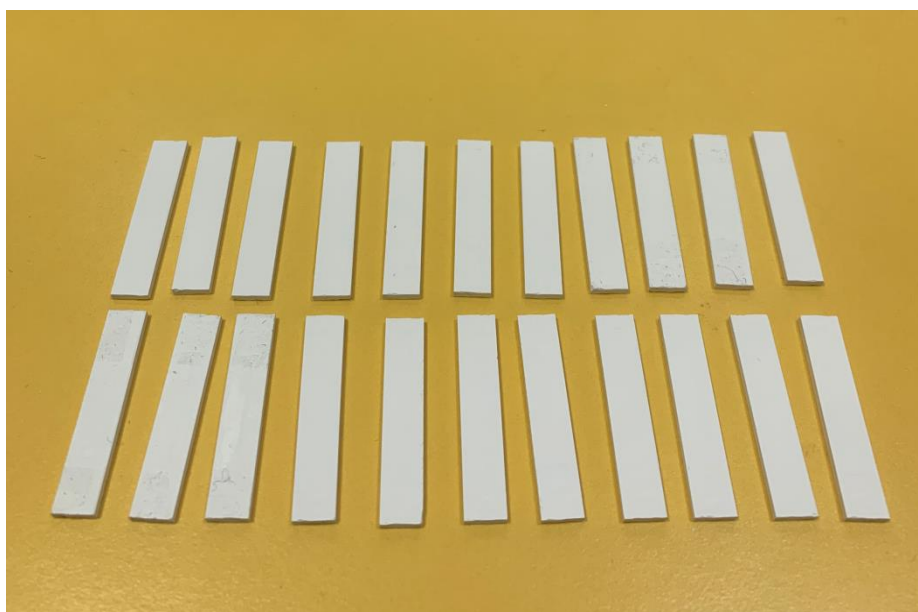


Рисунок 2 - Фото образцов, фрезерованных из блоков «Ziceram T» в лаборатории Дентсервис, Санкт-Петербург

В соответствии со стандартом ISO 6872:2015/2018 допустимо проводить испытания полированных образцов с фаской или неполированных образцов в таком качестве, которое получается после спекания. Во всех наших исследованиях образцы, как в основной, так и в контрольной группах испытывали неполированными с поверхностью, которая образуется после фрезерования и спекания. Принципиально важным было отсутствие пор, раковин, трещин и искривление поверхности, в противном случае, такие образцы отбраковывали. На каждый режим спекания изготавливали по 6 образцов.



В качестве контроля проводили испытания образцов из заготовок материала IPS e.max ZirCAD MT цвета A2 фирмы Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн. Общий вид заготовок материала представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 - Внешний вид заготовки диоксида циркония IPS e.max ZirCAD MT цвета A2 в виде диска диаметром 98,5 мм

Образцы из материала IPS e.max ZirCAD MT также были отфрезерованы в лаборатории Дентсервис, а спекались в строгом соблюдении с инструкцией завода изготовителя (таблица 6).

Таблица 6 - Программа обжига керамики IPS e.max ZirCAD MT

	Температура 1 [°C]	Температура 2 [°C]	Скорость нагрева [°C/мин]	Время выдержки [мин]
Нагрев	20	900	10	-
Выдержка	900	900	-	30
Нагрев	900	1500	3.3	-
Выдержка	1500	1500	-	120
Остывание	1500	900	10	-
Остывание	90	300	8.3	-

### 2.1.3 Характеристика образцов стоматологических керамик на основе диоксида циркония для изучения их оптических свойств

Для оценки параметров цвета использовали образцы стоматологической керамики на основе диоксида циркония «Zisceram T» после испытания их прочности при трехточечном изгибе в лаборатории материаловедения ФГБУ НМИЦ «ЦНИИС и ЧЛХ» МЗ РФ (Рисунок 4).

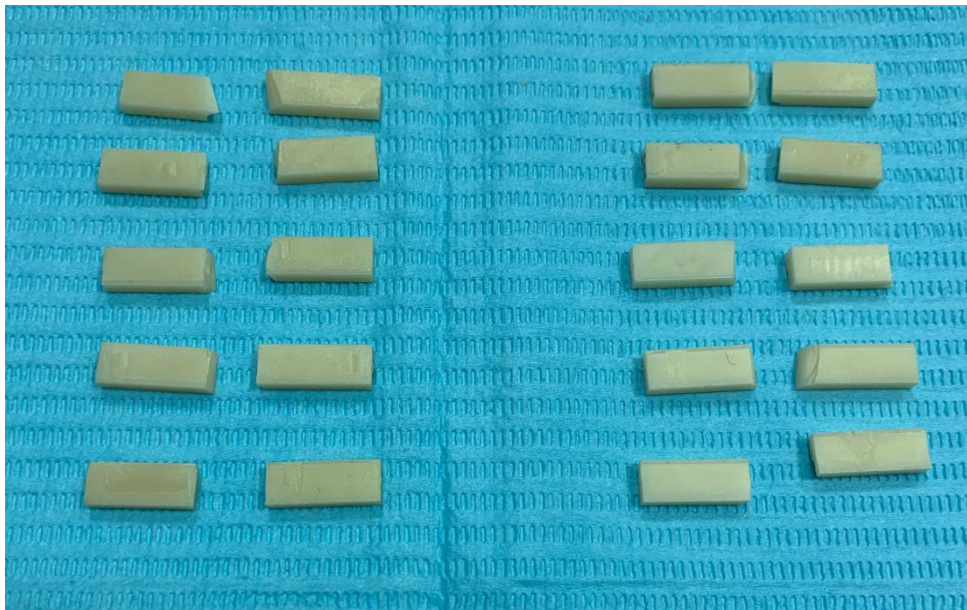


Рисунок 4 - Общий вид керамических образцов после испытаний на прочность перед оценкой цветовых параметров

Для оценки степени прозрачности готовили образцы методом фрезерования в лаборатории Дентсервис уменьшенной толщины -  $1,3 \pm 0,1$  мм.

Для изучения оптических характеристик при разных режимах обжига использовали по 3 образца на каждый режим.

На рисунке 5 представлен общий вид образцов уменьшенной толщины до спекания.



Рисунок 5 - Общий вид образцов стандартной и уменьшенной толщины из материала «Ziceram T» для изучения цвета и прозрачности после спекания

#### **2.1.4 Экспериментальные режимы скоростного окончательного спекания образцов стоматологической керамики на основе диоксида циркония «Ziceram T»**

Для поиска оптимальных режимов скоростного спекания стоматологической керамики образцов на основе диоксида циркония «Ziceram T» нами использованы параметры, описанные в специальной литературе, и специальные печи для обжига диоксида циркония, предназначенные для скоростного спекания. Мы использовали печи:

- CS4, компании Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн (рисунок 6),
- CS6, компании Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн (рисунок 7),
- Doutron SF700, Addin, Республика Корея (рисунок 8),
- S2 Eurofire, Omitec, Республика Корея (рисунок 9),
- SpeedFire, Dentsply Sirona, США (рисунок 10),
- Zyrcomat 6000 MS, VITA Zahnfabrik, Германия (рисунок 11).

Печи Doutron SF700 (Addin, Республика Корея) (рисунок 8), S2 Eurofire (Omitec, Республика Корея) (рисунок 9), Zyrcomat 6000 MS (VITA Zahnfabrik,

Германия) (рисунок 11) имели по одной предустановленной программе скоростного обжига, общей продолжительностью при конечной температуре 1500 °С , соответственно: 20 минут, 30 минут и 55 минут.

Печь SpeedFire (Dentsply Sirona, США) (рисунок 11) относится к закрытой системе CEREC и продолжительность обжига этой печи составила 25 минут, но при повышенной температуре 1580 °С.



Рисунок 6 - Печь для скоростного обжига диоксида циркония «CS4», Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн



Рисунок 7 - Печь для скоростного обжига диоксида циркония «CS6», Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн



Рисунок 8 - Печь для скоростного обжига диоксида циркония «Doutron SF700», Addin, Республика Корея



Рисунок 9 - Печь для скоростного обжига диоксида циркония «Eurofire S2»,  
Omitec, Республика Корея



Рисунок 10 - Печь для скоростного обжига диоксида циркония «Speedfire»,  
Dentsply Sirona, США





Рисунок 11 - Печь для обжига диоксида циркония «Zyrcomat 6000 MS»  
фирмы VITA Zahnfabrik, Германия

В печи «CS4» компании Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн (рисунок 6) имеются 2 предустановленных программы продолжительностью 27 и 48 минут, а в печи «CS6», компании Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн (рисунок 7) - 4 предустановленных программы, продолжительностью 22, 29, 55 и 69 минут.

Для решения поставленных в диссертации задач образцы обжигали по 10 скоростным и по одному традиционному режиму спекания, которые представлены в таблице 7.

Сверхскоростной режим обжига коронок из диоксида циркония по состоянию на март 2021 года реализован в печи «Speedfire» (Рисунок 10), продолжительностью 17 минут. Параметры режима обжига - скорость подъема температуры, время выдержки, время остывания компания держит в секрете. В печи «Speedfire» мы спекали образцы по режиму обжига № 3 общей продолжительностью 25 минут, с максимальной температурой обжига 1580 °С.

Таблица 7 - Основные параметры обжига при спекании образцов керамики  
«Ziceram T»

№ №	Название печи	Фирма/страна	Время обжига, мин
1	Doutron SF-700	Addin, Республика Корея	20
2	CS6	Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн	22
3	Speedfire	Dentsply Sirona, США	25
4	CS4	Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн	27
5	CS6	Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн	29
6	S2 Eurofire	Omitec, Республика Корея	30
7	CS4	Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн	48
8	Zyrcomat 6000	VITA Zahnfabrik, Германия	55
9	CS6	Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн	55
10	CS6	Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн	69
11	Zirkonofen	Zirkonzahn, Италия	500

### 2.1.5 Методика определения прочностных свойств образцов стоматологических керамик на основе диоксида циркония

В качестве метода исследования прочностных характеристик образцов керамики на основе диоксида циркония мы выбрали методику испытания на изгиб, так как этот параметр является общепризнанным и нормируется международным стандартом ISO 6872-2015/2018 для стоматологических керамических материалов. Мы использовали метод испытания керамических образцов при трехточечном изгибе, прикладывая нагрузку строго в центр образца. В соответствии со стандартом ISO 6872-2015/2018, скорость движения траверсы при данном испытании должна составлять 1 мм в минуту, именно это и было реализовано в нашей методике испытания. Исследование прочности при трехточечном изгибе проводили в лаборатории материаловедения ФГБУ НМИЦ «ЦНИИС и ЧЛХ» МЗ РФ, на разрывной машине «Zwick Roell Z010» (рисунок 12) совместно со старшим научным сотрудником лаборатории,



канд.мед.наук Русановым Ф.С. Образцы для исследования готовили в соответствии с п. 2.1.2. настоящей главы. Расстояние между опорами в разрывной машине устанавливали в  $20 \pm 0,5$  мм, располагая образцы на опоры таким образом, чтобы его середина располагалась по центру между опорами, а его продольная ось была перпендикулярна к направлению нагружения. Минимальное число образцов на каждый исследуемый режим спекания равнялось 6. Программное обеспечение компьютера, соединенного с испытательной машиной в автоматическом режиме, рассчитывало максимальную нагрузку, модуль упругости и предел прочности при изгибе. Результаты сводили в таблицы, рассчитывали среднее арифметическое значение и ошибку среднего значения.

После механических испытаний фрагменты образцов использовали для изучения параметров цвета (рисунок 4).



Рисунок 12 - Разрывная машина Zwick Roell, Германия

### 2.1.6 Методика изучения параметров цвета образцов стоматологических керамик на основе диоксида циркония

Параметры цвета керамических образцов на основе диоксида циркония «Ziceram T» определяли на акустическом спектрофотометре «Спектрон М» (рисунок 13), в лаборатории материаловедения ФГБУ НМИЦ «ЦНИИС и ЧЛХ» МЗ РФ, совместно с Поюровской И.Я. Испытания проводили в соответствии со стандартом ГОСТ Р 58165-2018 «Стоматология. Руководство по измерениям цвета».

Цветоанализатор «Спектрон-М» – автоматизированный спектрофотометр на основе двойного акустооптического монохроматора со встроенным источником освещения, управляемый специализированной компьютерной программой, специально предназначен для измерения цветовых характеристик стоматологических восстановительных материалов в лабораторных условиях. Измерения проводили с использованием программно-математического обеспечения прибора «Спектрон-М» в цветоизмерительной системе CIE  $L^*a^*b^*$ .



Рисунок 13 - Общий вид спектрофотометра «Спектрон М», Россия

На 3-х образцах для каждого экспериментального режима спекания в системе CIE  $L^*a^*b^*$ , определяли следующие параметры:

L - светлота,

a – цветовая интенсивность в красно-зеленом диапазоне,

b - цветовая интенсивность в сине-желтом диапазоне,

$\Delta E$  – различие цветовых оттенков в метрическом выражении (ГОСТ Р 58165-2018)

Сравнивали полученные результаты образцов, спеченных по скоростным режимам, с образцами, спеченными по рекомендованному стандартному режиму. Различия считали клинически приемлемыми при  $\Delta E < 2,5$ .

### **2.1.7 Методика определения степени прозрачности образцов стоматологических керамик на основе диоксида циркония**

Оценку степени прозрачности образцов проводили на приборе «Спектрон М» как и показатели цвета, но на образцах меньшей толщины  $1,0 \pm 0$  мм (рисунок 5). Принцип оценки степени прозрачности керамических образцов состоит в определении степени различия показателя светлоты образцов (L), определяемых на белом и на черном фонах по формуле

$$\text{Пр} = L_{\text{бф}} : L_{\text{чф}} \times 100 (\%)$$

Фирма изготовитель на своем сайте указывает прозрачность материала «Ziseram T», равную 41% [103].

По каждому режиму обжига для определения прозрачности мы исследовали по 3 образца. Полученные результаты сводили в таблицы, рассчитывали среднее арифметическое значение и ошибку среднего значения. Сравнивали с результатами образцов, спеченных по традиционному режиму обжига.

## 2.2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ КЛИНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.2.1 Общая характеристика групп пациентов

Клиническое исследование проведено в частных стоматологических организациях города Москвы и в университетской клинике РУДН-Юнидент («Стоматология Выхино»)

Проведено стоматологическое лечение и динамическое наблюдение 2 групп пациентов. Основную группу составили 12 человек, имеющих показания к изготовлению керамических коронок на боковые зубы. Критериями включения в группу были следующие характеристики: пациенты обоего пола старше 20 лет с полными зубными рядами или частичным отсутствием зубов, имеющие показания к изготовлению одиночных керамических коронок на боковой зуб или имплантат на верхней или нижней челюсти, при наличии антагонистов в виде естественных зубов или несъемных зубных протезов.

Критериями НЕ включения пациентов в исследование были:

- полная адентия,
- мышечно-суставная (ВНЧС) дисфункция, включая бруксизм,
- пародонтит средней и тяжелой степени,
- онкологические заболевания,
- хронические заболевания СОР,
- ксеростомия,
- обострение психосоматических заболеваний,
- отягощенный аллергологический анамнез,
- отсутствие зубов-антагонистов протезируемых зубов или наличие пластмассовых искусственных зубов или коронок,
- возраст до 20 лет.

Контрольную группу составили 12 человек, имеющие показания к протезированию боковых зубов керамическими коронками. Эта группа была

сопоставима по полу, возрасту и стоматологическому статусу с пациентами основной группы.

Пациентам основной группы были изготовлены коронки по экспресс методике, а контрольной группе - по традиционному длительному режиму.

Все клинические этапы в основной и контрольной группах были одинаковые.

Все пациенты дали информированное согласие на участие в исследовании.

Дизайн исследования одобрен Комитетом по Этике Медицинского Института РУДН (Протокол 16 от 19 марта 2020 г.).

### **2.2.2 Клинические и лабораторные этапы ортопедического лечения пациентов обеих групп керамическими коронками из отечественного материала на основе диоксида циркония, окончательное спекание которых проведено по оптимальному режиму ускоренного обжига**

Ортопедическое лечение пациентов включало 3 клинических этапа. Препарирование с изготовлением провизорной коронки, получение прецизионного оттиска, определение цвета и третий этап - припасовка (с применением артикуляционной бумаги различной толщины и аппарата T-scan) и фиксация керамической коронки, изготовленной в зуботехнической лаборатории Дентсервис, на стеклоиномерный цемент (рисунки 14-19) [2].



Рисунок 14 - Пациентка Е., контрольная группа, зуб 4.5, препарирован под керамическую коронку



Рисунок 15 - Пациент У., основная группа, провизорная коронка на зубах 2.6, 2.7 фиксация на TempBond NE

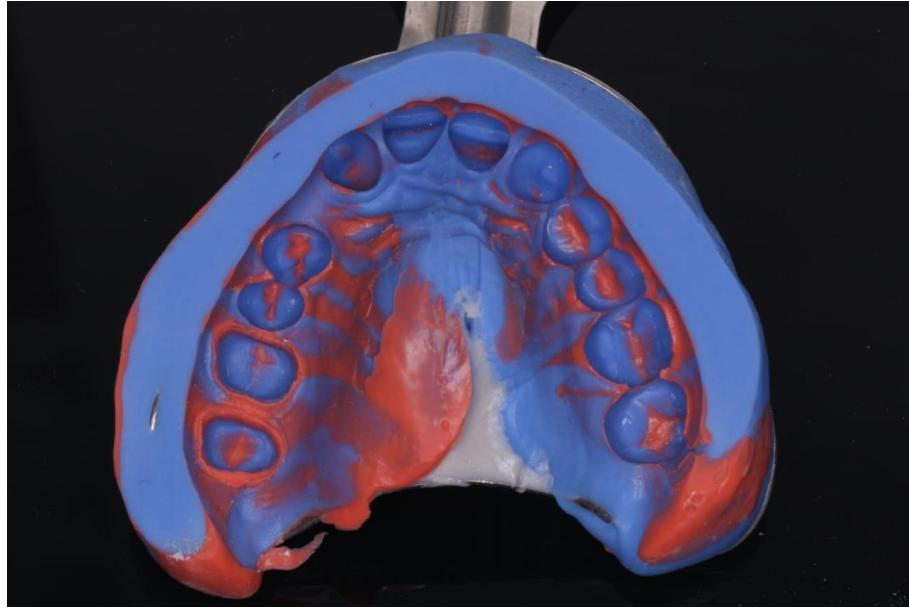


Рисунок 16 - Пациент Л., основная группа, А-силиконовый оттиск верхнего зубного ряда с препарированными под керамические коронки зубами 2.6, 2.7



Рисунок 17 - Керамическая коронка из материала на основе диоксида циркония «Ziceram T» цвета А2 на гипсовой модели перед фиксацией пациенту Е., основная группа



Согласно стандарту ISO/FDIS 6872:2015, керамика для одиночных монокоронных керамических коронок на боковые зубы должна иметь прочность на изгиб не менее 100 МПа при адгезивной фиксации или не менее 300 МПа при традиционной цементной фиксации. В нашей работе все коронки фиксированы традиционно на стеклоиономерный цемент, так как по результатам лабораторных исследований образцы из керамики «Ziceram T» при традиционном или скоростном обжиге имели прочность на изгиб значительно более 300 МПа.

Моделировку и фрезерование коронок из «Ziceram T» и традиционный обжиг проводили в лаборатории Дентсервис. Экспресс-обжиг коронок из диоксида циркония проведен нами в вакуумной электропечи «Programat CS6» в московском учебном центре фирмы Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн.

Всего по скоростной методике обжига изготовлено 16 коронок, из которых на верхней челюсти - 8, нижней челюсти – 8; 9 моляров и 7 премоляров.



Рисунок 18 - Пациент Р., основная группа, керамическая коронка, обожженная по скоростной методике, припасована на зуб 4.5





Рисунок 19 - Пациент Р., керамическая коронка на зуб 4.6 из материала «Ziceram T» обожжена по скоростной методике спекания, фиксирована иономерным цементом «Fuji 1»

### **2.2.3 Методы исследования эффективности ортопедического лечения керамическими коронками**

Наблюдения за коронками из материала «Ziceram T», изготовленными по стандартному режиму проводили совместно с аспирантом Ллака Эрнестом.

Клинические и аппаратные методы контроля качества проведенного ортопедического лечения проводили в день фиксации коронок, а также через 1 мес, 2 мес, 3 мес, 4 мес, 5 мес и 6 мес, что связано с минимальным сроком гарантии на стоматологическое ортопедическое лечение зубными протезами.

Методика клинических исследований включала классические методы: сбор и анализ жалоб, внешний осмотр, осмотр полости рта, перкуссию, пальпацию и зондирование, а также оценку качества коронок по методике FDI, используя 5 типов оценок качества, из которых первые 3 - допустимые, а последние 2 - недопустимые, требующие переделки коронки:

1 балл — клинически превосходно (очень хорошо) [код A];

2 балла — клинически хорошо (после полировки, возможно, очень хорошо) [код В];

3 балла — клинически удовлетворительно (незначительные недостатки, которые невозможно устранить без повреждения зубов или протезов) [код С];

4 балла — клинически неудовлетворительно (необходимо заменить протез с профилактической целью) [код D];

5 баллов — неприемлемое качество лечения (необходима замена протеза) [код E] [62].

**Эстетические свойства** изготовленных коронок проверяли по 3-м критериям.

### 1. Поверхностный блеск

1.А. Блеск поверхности сравним с блеском окружающих зубов.

1.В. Поверхность слегка матовая, но не заметна с расстояния от 60 до 100 см.

1.С. Поверхность тусклая, но приемлемо, если поверхность протеза покрыта пленкой слюны.

1.Д. Поверхность шероховатая и не маскируется пленкой слюны. Необходима и возможна капитальная полировка.

1.Е. Поверхность недопустимо шероховатая, что делает протез неэстетичным или сохраняет заметную биопленку (налет). Улучшение полировкой невозможно.

### 2. Окрашивание коронки и гомоличного зуба красителем

2.А. Отсутствие окрашивания краев или поверхности.

2.В. Незначительное краевое окрашивание (в сухих условиях) и/или небольшое поверхностное окрашивание присутствует, но равномерно распределено по всему протезу. Это не влияет на эстетические свойства, поскольку является обобщенным и приемлемым.

2.С. Умеренное краевое или поверхностное окрашивание, незаметное с расстояния разговора.

2.D. Поверхностное окрашивание четко различимо на расстоянии речи. Или присутствует сильное локализованное краевое окрашивание, которое не удаляется полировкой. Нарушаются эстетические свойства зубного ряда.

2.E. Окрашивание поверхности абсолютно неприемлемо/некрасиво, и коронку необходимо заменить или присутствует генерализованное и глубокое краевое изменение цвета.

### 3. Насыщенность цвета

3.A). Цвет коронки клинически превосходно сочетается с соседними зубами. Между коронкой и зубом нет разницы в оттенке и яркости.

3.B). Соответствие цвета клинически приемлемо, но незначительные отклонения в оттенке между зубом и коронкой очевидны.

3.C). Цветопередача удовлетворительная; наблюдается явное отклонение в цветопередаче, не влияющее на эстетику.

3.D). Цвет клинически неудовлетворительный. В коронке имеется изменение цвета, что делает ее немедленно узнаваемой с расстояния разговора и влияет на внешний вид зубного ряда.

3.E). Соответствие цвета клинически неудовлетворительно. Коронка имеет неприемлемое несоответствие цвета и требует замены.

**Функциональные свойства** изготовленных коронок проверяли по 4-м критериям.

### 4. Целостность коронки

4.A. На коронке отсутствуют дефекты, трещины и сколы.

4.B. Мелкие микротрещины видны.

4.C. Присутствуют несколько микротрещин и/или ограниченное количество сколов.

4.D. Сколы влияют на краевое прилегание; объемные трещины с вероятным разрывом  $>250$  мкм

4.E. Объемный перелом с вероятным разрывом  $>250$  мкм.

### 5. Краевое прилегание

5.A. Отсутствие клинически определяемого зазора. Края представляют собой гармоничное продолжение контура на переходе зуб/коронка.

5.B. Краевая целостность отличается от идеальной, но может быть улучшена полировкой. Небольшой краевой скол можно устранить полировкой, и/или локальный зазор едва заметен при использовании дентального зонда  $>50$  мкм и  $<150$  мкм.

5.C. Подтекание присутствует, но ограничено зоной краев. Краевой зазор  $>150$  мкм, но  $<250$  мкм хорошо определяется при зондировании, но не может быть изменен без незначительного повреждения зуба или окружающих тканей и не приводит к долгосрочным негативным последствиям для зуба или окружающих тканей, если не лечить.

5.D. Локализованный зазор более 250 мкм может привести к оголению дентина или цемента корня.

5.E. Общий зазор более 250 мкм или фиксация протеза резко ослаблена, но он на месте, необходима замена, чтобы предотвратить дальнейшее повреждение.

### 6. Рентгенологическое обследование

6.A. При рентгенологическом исследовании патологии не выявлено. Существует гармоничный переход между коронкой и корнем; явного избытка или недостатка цемента не выявлено.

6.B. Рентгенографическое исследование выявляет небольшую видимую, но приемлемую отрицательную ступеньку на краю коронки  $<150$  мкм.

6.C. Краевые зазоры  $<250$  мкм и/или отрицательные ступени  $<250$  мкм идентифицируются без клинически отрицательных эффектов; удаление невозможно из-за их расположения.

6.D. Недопустимые краевые зазоры  $>250$  мкм. Необходимо серьезное вмешательство, чтобы избежать повреждения зуба и прилегающих тканей.

6.E. Рентгенологическое исследование выявляет поддающиеся проверке большие просветы  $>500$  мкм и/или подозрение на вторичный кариес,

апикальные патологические изменения, тяжелый перелом зуба. Необходима замена протеза.

### 7. Состояние пародонта

7.А. Нет налета, нет воспаления десневого сосочка.

7.В. Присутствует минимальный зубной налет.

7.С. Разница до одного уровня индекса РМА по сравнению с гомологичным зубом.

7.Д. Разница более чем в одну степень ухудшения РМА по сравнению с гомологичным зубом или увеличение кармана глубиной  $> 1$  мм, требующее серьезного вмешательства.

7.Е. Тяжелый/острый гингивит или пародонтит, связанный с протезом, требующий немедленной замены коронки.

Рентгенологическое исследование – критерий качества проведенного ортопедического лечения №6 проводилось только до лечения и через 6 мес после фиксации коронок, либо могло проводиться при наличии жалоб или неудовлетворительных результатов зондирования (нарушение краевого прилегания- краевой зазор более 250 мкм)

При оценке клинической эффективности протезирования обязательно учитывали **мнение пациента** также по пяти критериям качества:

а) пациент полностью удовлетворен, готов снова принять такой же протез, готов рекомендовать протез из этого материала другим. Пациент не может обнаружить реставрацию языком;

б) пациент удовлетворен и согласился бы на такой же протез снова. Пациент может обнаружить коронку своим языком, но не считает ее неприятной;

в) пациент критикует эстетические недостатки и/или отсутствие комфорта при жевании; ремонт или замена коронки не считается клинически необходимой; пациент может обнаружить протез языком и оценить ситуацию как слегка раздражающую; восстановление может быть улучшено шлифовкой или полировкой;

г) пациент требует улучшения протеза, например, изменения анатомической формы; язык пациента раздражен или локально воспален, и пациент оценивает ситуацию как раздражающую; простая починка, такая как шлифовка или полировка, не может решить проблему.

д) пациент полностью недоволен, есть объективные причины, коронка должна быть немедленно заменена, чтобы предотвратить дальнейшие неблагоприятные эффекты и/или боль; пациент не хочет снова иметь такой же протез.

Дополнительно проводили осмотр полости рта с помощью аппарата АФС для выявления возможных трещин коронок и патологии протезного поля.

Окрашивание керамических коронок и гомологичных зубов раствором метиленового синего, кариес-маркером или Колор-тестом №1 (Владмива) проводили для оценки гигиены, выявления возможных трещин, патологии протезного поля (рисунок 20).



Рисунок 20 - Керамическая коронка из материала «Ziceram T» на зуб 3.5 у пациента Р., основная группа, окрашенная кариес маркером. Не выявлены трещины или поломки коронки на сроке 6 месяцев

Результаты клинического обследования в группах сводили в таблицы и подвергали сравнительному анализу по каждому критерию.

### 2.3 Методика статистической обработки

При статистическом анализе полученных результатов был использован метод вариационного анализа. Данные вносили в таблицы в программе Microsoft Excel 2016, учитывали средние арифметические значения, квадратичные отклонения и значение погрешности. Различия считали достоверными (статистически значимыми) при вероятности ошибки  $(p) \leq 0,05$  (по значениям t-критерия Стьюдента).

## **ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **3.1 Результаты лабораторных исследований**

#### **3.1.1 Результаты исследований влияния режимов скоростного спекания образцов керамики на основе диоксида циркония из заготовок отечественного производства «Ziceram T» на прочность при изгибе**

В начале лабораторных исследований мы провели пробное изучение прочностных показателей образцов керамики «Ziceram T» после экспресс-спекания в доступных на российском стоматологическом рынке печах, специально предназначенных для технологии «Chairside» с использованием тех режимов, которые рекомендуют фирмы - изготовители оборудования, при условии, что они не превышают по продолжительности 1,5 часа. В противном случае такой обжиг нельзя признать допустимым при технологии «Chairside», то есть в присутствии пациента в кресле (клинике). Мы смогли обеспечить работу на 6 импортных электропечах:

- 1) Programat CS4 компании Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн;
- 2) Programat CS6 компании Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн;
- 3) Doutron SF700, Addin, Корея;
- 4) S2 Eurofire, Omitec, Корея;
- 5) SpeedFire, Dentsply Sirona, США;
- 6) Zyrcomat 6000 MS; VITA Zahnfabrik, Германия.

Анализ инструкций позволил выбрать 11 программ экспресс обжига, которые и были применены на начальном этапе нашего исследования. Результаты испытаний, спеченных по экспресс режимам образцов керамики «Ziceram T» представлены в таблице 7.

Анализ результатов этой серии исследований показал, что все образцы, обожженные по всем предустановленным программам во всех 6 применённых печах, имеют прочность при изгибе, которая, согласно международному стандарту ИСО 6872-2018, достаточна не только для изготовления одиночных



керамических коронок в передних и боковых отделах зубных рядов верхней или нижней челюстей (более 300 МПа), но и трехзвеньевых керамических мостовидных в боковых отделах (более 500 МПа). То есть любая из использованных программ и печей пригодна для изготовления керамических коронок из отечественных заготовок на основе диоксида циркония «Ziseram T» по технологии скоростного обжига. Попытка выявить зависимость прочности образцов при изгибе от общей продолжительности спекания выявила отсутствие подобной закономерности (таблица 8, рисунок 22). Максимальную прочность при трёхточечном изгибе мы получили при общей продолжительности спекания 69 минут в печи Programat CS6 (Ивоклар Вивадент, Лихтенштейн) -  $710 \pm 76$  МПа и 25 минут в печи SpeedFire (Дентсплай-Сирона, США-Германия) -  $718 \pm 99$  МПа. Статистически достоверно от них не отличается прочность образцов в печи Programat CS6 (Ивоклар Вивадент, Лихтенштейн) при спекании в течение 22 минут -  $657 \pm 38$  МПа. Следующим вариантом анализа влияния режимов экспресс обжига на прочность при изгибе была попытка выяснения зависимости показателей прочности от максимальной температуры спекания. Для наглядности полученные результаты представлены в таблице 8 и рисунке 22 по мере увеличения температуры спекания. Анализ данных показывает, что увеличение температуры в интервале от  $1460^{\circ}\text{C}$  до  $1580^{\circ}\text{C}$  приводит к росту показателей от  $605 \pm 87$  МПа при  $1460^{\circ}\text{C}$  до  $718 \pm 99$  МПа при  $1580^{\circ}\text{C}$ .

Таблица 7 - Предел прочности при изгибе образцов из керамики «Ziceram Т» после скоростного обжига по предустановленным программам, при ранжировании по продолжительности спекания

№№	Печь для экспресс-обжига диоксида циркония	Длительность обжига, мин	Температура обжига, °С	Прочность, МПа
1	Doutron SF700, Addin, Корея	20	1500	560±56
2	Programat CS6 Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн	22	1480	657±38
3	SpeedFire, Dentsply Sirona, США	25	1580	718±99
4	Programat CS4 Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн	27	1460	605±87
5	Programat CS6 Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн	29	1480	630±81
6	S2 Eurofire, Omitec, Корея	30	1500	590±53
7	Programat CS4 Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн	48	1460	578±107
8	Zirconat 6000 MS, VITA Zahnfabrik, Германия	55	1530	546±71
9	Programat CS6 Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн	55	1480	641±42
10	Programat CS6 Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн	69	1480	710±76
11	Zirkonofen 600, Zirkonzahn, Италия	500	1550	705±111

Таблица 8 - Результаты испытаний прочности образцов керамики «Ziceram T» при трёхточечном изгибе после экспресс обжига в различных печах по предустановленным программам, ранжированные по конечной температуре спекания

Общее время обжига, мин	Температура обжига °С	Предел прочности при изгибе, МПа
27	1460	605±87
48	1460	578±107
22	1480	657±38
29	1480	630±81
55	1480	641±42
69	1480	710±76
20	1500	560±56
30	1500	590±53
55	1530	546±71
500	1550	705±111
25	1580	718±99

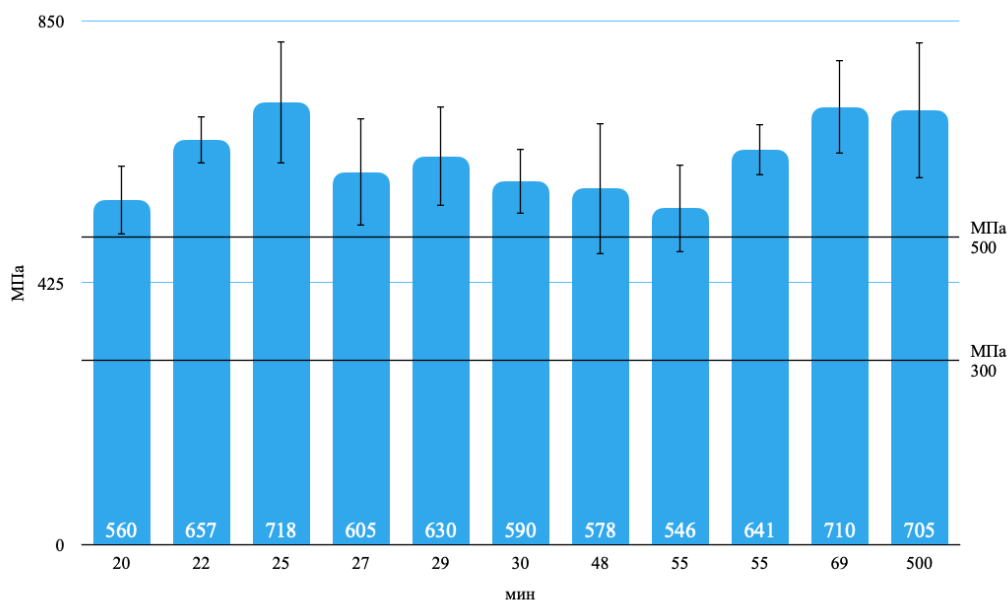


Рисунок 22 - Прочность при трёхточечном изгибе образцов керамики «Ziceram T» после экспресс обжига в различных печах по предустановленным программам, ранжированная по общей продолжительности спекания

Остальные полученные нами данные прочности образцов при трёхточечном изгибе в указанном диапазоне (546÷590 МПа) статистические достоверно не отличались.

Максимальный показатель прочности получен нами при использовании печи SpeedFire фирмы Дентсплай Сирона (США), на которой невозможно проводить обжиги с произвольно выбранными режимами, кроме режимов, которые автоматически устанавливает компьютерная система после компьютерного фрезерования протеза. Поэтому продолжение исследований мы осуществили в усовершенствованной печи – варианте специализированной печи для экспресс-технологии «Chairside», что производитель Ivoclar Vivadent анонсировал в самом названии печи «CS».

На печи Programat CS6 мы провели 11 серий обжигов образцов по разным режимам с варьированием температуры (от 1480° до 1550° С) и

продолжительности спекания, скорости нагрева, использования вакуумирования рабочей камеры. Результаты испытаний при трехточечном изгибе образцов этих серий представлены в таблице 9 и на рисунке 23.

Таблица 9 - Результаты механических испытаний образцов, спеченных по экспресс режимам в печи Programat CS6

№ №	Температура обжига, T <sub>к</sub> , °С	Длительность обжига при T <sub>к</sub>	Выдержка при T <sub>к</sub> , минуты	Скорость нагрева, °/мин	Скорость остывания, °/мин	Вакуум	Прочность, МПа
1	1450	40	10	200 до t 1000°; 100 до T <sub>к</sub>	70	-	590±53
2	1480	22	5	200 до t 1000°; 100 до T <sub>к</sub>	70	+	581±56
3	1500	39	5	200 + 100 + 30	70	-	580±93
4	1550	55	5	100	40	-	642±91
5	1550	46	10	200 до t 1000°; 100 до T <sub>к</sub>	70	-	534±48
6	1550	41	5	200 + 100 + 30	70	-	551±146
7	1550	46	5	100 + 30	70	+	599±42
8	1480	55	5	Нет данных	Нет данных	Нет данных	641±42
9	1480	69	5	Нет данных	Нет данных	Нет данных	710±76
10	1480	22	5	200+100	70	+	657±38
11	1480	30	5	Нет данных	Нет данных	Нет данных	630±81

Как видно из таблицы 9 и на рисунке 23, самый высокий показатель прочности получен на образцах, спеченных по режиму №9 с общей продолжительностью процесса 69 минут –  $710 \pm 76$  МПа. Статистически совпадающий результат  $657 \pm 38$  МПа получен нами у образцов, спеченных по программе №10. Причем в программе №10 мы получили самый маленький разброс результатов изучения предела прочности при изгибе  $\pm 38$  МПа, что свидетельствует о высокой надежности этого режима скоростного спекания.

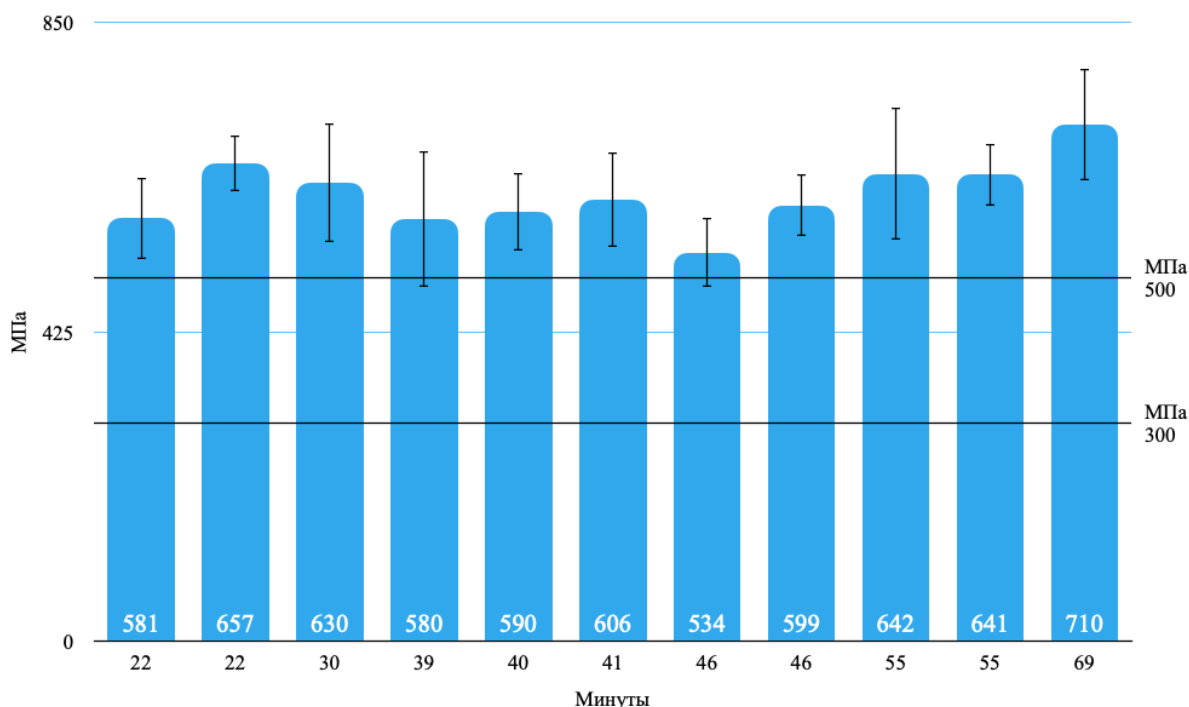


Рисунок 23 - Прочность при трёхточечном изгибе керамических образцов, спеченных по экспресс-режимам в печи Programat CS6

Важно отметить, что при всех изученных режимах обжига в печи Programat CS6 образцы имели очень высокие показатели прочности относительно требований международного стандарта ИСО 6872-2018 для материала для керамических зубных коронок, вдвое превысив требование в 300

МПа. Поэтому с позиций требований прочности подходят все из изученных 11 режимов спекания в печи Programat CS6.

С позиций скорости изготовления зубопротезной конструкции лучшей следует признать программу №10 – общая продолжительность обжига 22 минуты. Лучшая по прочности программа № 9 в 3 раза длительнее, что имеет принципиальное значение для технологии «Chairside».

Таким образом, по итогам данного фрагмента диссертационной работы с учетом обоих критериев (прочность протезов и скорость процесса обжига), оптимальной методикой изготовления зубных коронок из керамики на основе диоксида циркония из отечественных заготовок «Ziceram T» следует признать режим №10: спекание в течение 22 минут при скорости нагрева  $200^{\circ}\text{C}/\text{мин}$  с выдержкой 5 минут при максимальной температуре  $1480^{\circ}\text{C}$  и при скорости охлаждения  $70^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ .

Результаты данного раздела диссертационного исследования получены нами совместно с Ллака Эрнестом и опубликованы в журнале «Проблемы стоматологии» [23].

Для признания данного режима пригодным для клинического применения необходимо было исследовать влияние различных режимов технологии спекания на эстетические показатели протезов: показатели цвета и прозрачности.

### **3.1.2 Результаты исследований влияния режимов скоростного спекания образцов керамики на основе диоксида циркония из заготовок отечественного производства «Ziceram T» на параметры цвета и прозрачности**

Вначале нами была оценена надежность и повторяемость результатов определения параметров цвета образцов зубных протезов из керамики на основе диоксида циркония из отечественных заготовок «Ziceram T» цвета А2 контрольной группы (многочасовой режим спекания) и проведено

сопоставление по показателю цветового различия  $\Delta E^*_{ab}$  на черном и белом фонах. В таблице 10 представлены полученные результаты для 3-х образцов контрольной группы, изученные на черном и белом фонах.

Таблица 10 - Параметры цвета керамических образцов контрольной группы после многочасового высокотемпературного обжига

№ образца	Фон	«L»	«a»	«b»	Интервальный показатель $\Delta E$
1	белый	66.957	-2.354	7.994	0.00
1	черный	66.789	-2.739	7.392	0.73
2	белый	67.155	-2.406	7.840	0.26
2	черный	66.983	-2.737	7.259	0.83
3	белый	67.328	-2.369	7.159	0.91
3	черный	67.162	-2.647	6.524	1.51
Среднее	белый	67.147	-2.377	7.662	0.38
Среднее	черный	66.978	-2.707	7.056	1.00

Средние значения цветового различия между тремя образцами составили:

- на черном фоне  $\Delta E^*_{ab} = 1,02$ ;

- на белом фоне  $\Delta E^*_{ab} = 0,52$ , что позволяет сделать заключение о надежной воспроизводимости измерений на цветоанализаторе «Спектрон-М» и хорошей совместимости параметров цвета изученных образцов на черном фоне  $\Delta E^*_{ab} = 1,02$  и на белом фоне  $\Delta E^*_{ab} = 0,52$ . По ГОСТ Р 58165-2018 (п.7.1.2) эти показатели должны быть менее 1,2.



Таким образом, мы подтвердили достоверность получаемых результатов при использовании вышеописанной методики. Поэтому мы использовали её для изучения влияния параметров обжига керамических образцов на параметры их цвета и прозрачности, сравнивая режимы по величине  $\Delta E^*_{ab}$  между цветовыми характеристиками образцов опытной группы и образцов контрольной группы.

Результаты измерений параметров цвета 10 экспериментальных групп образцов зубных протезов из керамики на основе диоксида циркония из отечественных заготовок «Ziceram T» (цвет A2), спекание которых проведено по предустановленным программам в 6 различных Chairside печах, представлены в таблице 11 и на рисунке 24.

Мы установили, что сверхскоростные режимы (менее 30 минут) приводят к сильным отличиям параметров цвета обожженных экспериментальных образцов от контроля, в основном, за счет показателя «b». В контроле  $b_k = 7.056$ , в группах «C», «D», «F» показатель «b» почти в два раза выше, то есть цвет образцов смещен в желтую область. Однако, только по продолжительности обжига нельзя сделать обоснованный вывод о закономерностях изменения показателей цвета, потому что, например, скоростной режим «H» отличается от режима «D» всего на 2 минуты по длительности обжига, однако,  $\Delta E_H$  при этом режиме в полтора раза меньше  $\Delta E_D = 15,9$  и  $\Delta E_H = 9,7$ . Режим «I» почти вдвое более длительный, чем «C», «D», «F», при этом значение  $\Delta E_I = 13,1$

Таблица 11 - Характеристики цвета в системе CIE L\*a\*b\* на черном фоне образцов керамики «Zisemat T», цвет А2 после различных режимов экспресс-обжига по предустановленным программам [табл.7] в сравнении с контролем (многочасовое спекание)

Группы образцов [режим спекания из табл.7]	Параметр цвета «L»	Параметр цвета «a»	Параметр Цвета «b»	Цветовое различие «ΔE»
А [9]	76.594	-1.584	11.958	10.9
В [6]	67.790	-2.145	9.241	2.4
С [2]	78.574	-1.020	13.849	13.5
Д [4]	80.910	-0.387	14.396	15.9
Е [3]	71.638	-2.367	8.964	5.1
F [1]	81.144	-1.011	13.495	15.7
G [8]	71.208	-2.281	9.759	5.0
Н [5]	75.551	-1.630	11.442	9.7
И [7]	76.829	-0.108	15.263	13.1
J [10]	70.610	-2.072	9.278	4.3
К	66.978	-2.707	7.056	Контроль

очень близко к этим режимам ( $\Delta E_C=13,5$ ;  $\Delta E_D=15,9$ ;  $\Delta E_F=15,7$  соответственно), а показатель « $b_I$ » является самым высоким (+15,263)/

Следует принять во внимание, что в нашем исследовании использованы различные специализированные печи для «Chairside технологии» с предустановленными программами скоростного спекания, что не позволило

выявить закономерность конкретного влияния скорости нагрева и охлаждения, температуры и продолжительности экспресс обжига. Поэтому для поиска оптимальной программы обжига по параметру цвета было необходимо провести спекание при различных режимах в одной и той же печи.

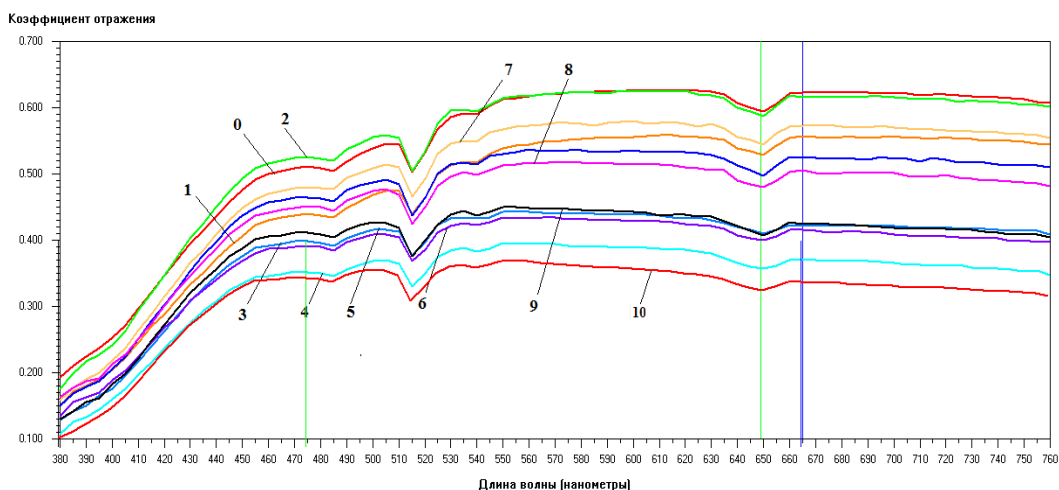


Рисунок 24 - Спектры 10 групп образцов керамики «Ziceram T» (цвет А2) после различных режимов скоростного спекания в сравнении с контролем, обжиг которых проведен в разных Chairside печах по предустановленным программам (1- программа «F», 2- программа «C», 3- программа «E», 4- программа «D». 5 – программа «H», 6- программа «B», 7 – программа «I», 8 – программа «G», 9- программа «J», 10- «Контроль»).

Поэтому мы провели специальный эксперимент, обжигая образцы в одной и той же печи «Programat CS6». В таблице 12 приведены показатели цвета керамических образцов, которые обжигали по скоростной программе при трех разных температурах 1480÷1500÷1550 °С в течение 5 минут в печи «Programat CS6». Анализ результатов показывает, что при повышении температуры спекания от 1480°С до 1550°С изменяются все три характеристики цвета, но по-разному. Светлота увеличивается с +74.8 до +77.3 и далее до +77.9. Напротив,

показатели «а» и «b» по мере увеличения температуры снижаются: значения параметра «а» от -1.6 до -1.9 и далее до - 2.3 и значения параметра «b» от +9.4 снижаются до +7.6, а затем снижаются до +6.9, соответственно, то есть цвет образцов становится менее желтым и менее красным. Мы также определили показатели цвета у образцов, обожженных при 1550 °С с выдержкой 5 минут, но при более резком наборе температуры: 200 °С в минуту вместо 100°С в минуту. Светлота «L» при этом снизилась, но повысились значения показателей «а» и «b».

Таблица 12 - Показатели цвета образцов керамики «Ziceram T» цвет А2 в системе CIE L\*a\*b\* в зависимости от температуры спекания и скорости нагрева

Режимы спекания			Цветовые характеристики CIE L*a*b*			Интервальный показатель ΔE
№№	T <sub>макс</sub> \ скорость Нагрева	Время обжиг а	«L»	«а» красное / зеленое	«b» желтое/ синее	
1	1480/100	22	74.814	-1.586	9.361	8.2
2	1500/100	39	77.338	-1.910	7.627	10.4
3	1550/100	55	77.884	-2.311	6.916	10.9
4	1550/200	41	76.492	-1.823	8.329	9.6

Полученные свидетельства о разнонаправленном влиянии режимов скоростного спекания керамических образцов из отечественных заготовок «Ziceram T» послужили основанием для проведения новой серии экспериментов не столько с анализом конкретных цветовых характеристик при разных режимах, но по расчету интегрального показателя ΔE. Этот показатель определяет близость цвета или степень различия. Клинически приемлемым

различием считается величина  $\Delta E$  до 2.7 (ГОСТ Р 58165-2018) (ISO\TR28642:2016). По нашим данным, режимы скоростного спекания приводят к существенному отличию параметров цвета быстро спеченных образцов от контроля (таблица 11). Все без исключения изученные режимы скоростного спекания керамики на основе диоксида циркония продемонстрировали существенное значимое отличие от контроля по интегральному показателю  $\Delta E$ . Наибольшие отличия от цветовых показателей контрольной группы выявлены у групп: «D» ( $\Delta E_D = 15.9$ ); «F» ( $\Delta E_F = 15.7$ ); «C» ( $\Delta E_C = 13.5$ ). Во всех этих группах общая продолжительность обжига была меньше 30 минут.

Поэтому для практического применения зубных протезов из керамики на основе диоксида циркония из отечественных заготовок «Ziceram T» при протезировании коронками мы считаем целесообразным изготавливать и применять специальную «рукотворную» шкалу расцветок – изготовленные в клинике (лаборатории) эталоны керамики после их экспресс обжига.

Следующим этапом нашей работы было определение влияния режимов скоростного обжига на показатели прозрачности керамических образцов из отечественных заготовок «Ziceram T». Был проведён целенаправленный скоростной обжиг образцов диоксидциркониевой керамики «Ziceram T» (цвет A2) в одной и той же печи «Programat CS6» при различных режимах конечной температуры, но с одинаковой продолжительностью спекания. Мы провели в печи «Programat CS6» спекание образцов при температурах 1480 °C, 1500 °C и 1550 °C с выдержкой в течение 5 минут и определили показатель прозрачности по описанной в главе 2 методике (частное от деления значений параметра «L» на белом и черном фонах). Контролем служили показатели прозрачности образцов керамики на основе диоксида циркония «ZirCad MT» фирмы Ивоклар Вивадент (Лихтенштейн), спеченных по рекомендованному в инструкции к материалу скоростному режиму в той же печи «Programat CS6».

Наши исследования показали, что параметр прозрачности незначительно колеблется в зависимости от температуры спекания: от 8.8% при 1480 °С повышается до 9.9% при 1500 °С и снижается до 8.9 % при 1550 °С (рисунок 25). Полученные данные значительно уступают показателю прозрачности контрольных образцов 14,7% для материала «ZirCAD MT».



Рисунок 25 - Показатели прозрачности образцов «Ziceram T» в сравнении с контролем при разных температурах спекания в печи Programat CS6 в течение 5 минут

Чтобы решить вопрос с возможной прозрачностью при использовании предустановленных скоростных программ самой продвинутой для этого печи, включая вакуумирование, мы провели обжиги образцов из материала «Ziceram T» по всем программам печи «Programat CS6». К сожалению, ни в одном случае мы не получили ни на каком-либо образце прозрачность более 11%.

По данным фирмы-производителя стоматологических заготовок керамики на основе диоксида циркония «Ziceram T», показатель прозрачности при использовании традиционного многочасового обжига образцов превышает 40%. Таких значений мы в своей работе со скоростными режимами спекания не получили ни при каких режимах.

Поэтому мы считаем целесообразным ограничить показания по применению керамических коронок из заготовок на основе диоксида циркония «Ziceram T» во фронтальном отделе зубного ряда из-за очень низкой прозрачности этого материала после скоростного обжига.

### **3.2 Результаты клинических исследований**

Проведено стоматологическое лечение и динамическое наблюдение 2-х групп пациентов.

Под нашим ежемесячным динамическим наблюдением в течение полугода находились 36 коронок из керамики «Ziceram T», 20 из них были изготовлены по традиционному многочасовому режиму, 16 – по скоростному режиму спекания. Большинство коронок в основной и контрольной группах были изготовлены на депульпированные зубы (соответственно 10 и 12), 8 коронок в контрольной группе и 6 керамических коронок в основной группе были изготовлены с опорой на дентальные имплантаты. 16 - коронок были изготовлены на премоляры, 20 – на моляры, 20 – на верхней челюсти, 16 – на нижней.

В таблице 13 представлены сведения о пациентах основной группы и изготовленных им коронках из керамики на основе диоксида циркония «Ziceram T» с применением технологии скоростного обжига по разработанной в лабораторной части нашей диссертации методике. Основную группу составили 12 человек, имеющих показания к изготовлению керамических коронок на боковые зубы.

В таблице 14 представлены основные сведения о пациентах контрольной группы и изготовленных им коронках из керамики на основе диоксида циркония «Ziceram T» с применением традиционной технологии многочасового обжига.

Таблица 13 - Общая характеристика пациентов основной группы и изготовленных им керамических коронок

№ № пац иен та	По л	Год рождения	Протез ируем ые зубы	Опора на импла нтат	Цве т кор онк и	Антагон исты	Вид фиксации
1	М	1972	4.6	-	А2	ЕЗ	F
2	М	1970	3.5	-	А2	ЕЗ	F
3	М	1988	2.4	-	А3	ЕЗ	F
4	Ж	1952	-	1.6	А3	ЕЗ	ВФ
			-	1.5	А3	ЕЗ	ВФ
			-	1.4	А3	ЕЗ	ВФ
5	Ж	1957	-	2.4	А3	ЕЗ	ВФ
			-	2.5	А3	ЕЗ	ВФ
			-	2.6	А3	ЕЗ	ВФ
6	М	1974	2.7	-	А2	КК	F
7	М	1977	3.7	-	А2	КК	F
8	М	1969	4.6	-	А2	ЕЗ	F
9	М	1978	2.7	-	А3	КК	F
10	М	1992	3.6	-	А3	ЕЗ	F
11	М	1990	3.7	-	А3	ЕЗ	F
12	М	1988	2.5	-	А3	ЕЗ	F

Условные обозначения в таблице 13 и 14: Ж- женский пол; М – мужской пол; КК – керамический протез; МКП – металлокерамический протез; МП – металлический протез; ЕЗ – естественный зуб; ВФ – винтовая фиксация; F – иономерный цемент «Fuji-1»



Таблица 14 - Общая характеристика пациентов контрольной группы и изготовленных им керамических коронок по традиционной технологии

№ № па ци ен та	По л	Возра ст, годы	Протезир уемые зубы	Опо ра на имп лан тат	Цвет корон ки	Антаг онист ы	Цемент для фиксаци и
1	Ж	41	2.4 2.6	- -	A2 A2	МКП	F F
2	Ж	30	-	4.4	A1	ЕЗ	ВФ
3	М	54	- -	3.5 3.7	A3	КК	ВФ ВФ
4	Ж	38	2.5 2.7	- -	A2	ЕЗ	F F
5	Ж	59	1.5 1.7	- -	A3.5	МП	F F
6	М	27	4.7	-	A2	ЕЗ	F
7	Ж	46	3.4	-	A3	ЕЗ	F
8	Ж	53	- -	2.4 2.6	A3	КК	ВФ ВФ
9	М	34	3.5 3.7	- -	A2 A2	ЕЗ	F F
10	Ж	49	- -	2.7 2.5	A2 A2	КК	ВФ ВФ
11	Ж	61	-	1.6	A3	МКП	ВФ
12	М	55	4.4 4.5	- -	A2 A2	МКП	F F

В таблицах 15 и 16 представлены сводные данные о результатах клинических исследований в основной (№14) и контрольной (№15) группах на





Анализируя данные таблицы 15, следует отметить, что при обследовании коронок пациентов контрольной группы на всех сроках наблюдения получены наивысшие оценки [А] и сумма баллов на всех сроках равна норме. Другая картина получается при анализе сумм баллов по результатам оценки качества коронок у пациентов основной группы. По критерию №3 на каждом сроке с 1 мес по 6 мес по 4 коронки оценены по 2 балла (оценка 3В). Ещё 2 коронки на каждом сроке наблюдения получили низкую оценку на грани переделки (оценка 3С по 3 балла) из-за существенного отличия по цвету керамических коронок из диоксида циркония «Zisceram Т» после скоростного спекания от цвета рядом стоящих зубов. На рисунке 26 представлено фото коронки на зуб 2.7 фиксированной после скоростного обжига в полости рта пациента П (основная группа) через 3 месяца пользования. По критерию качества №3 коронка получила оценку 3С (3 балла) как существенно отличающаяся от цвета рядом стоящих зубов.

По всем остальным эстетическим параметрам на всех сроках наблюдения керамические коронки из диоксида циркония «Zisceram Т» после скоростного спекания у пациентов основной группы получили высший бал [А]. Поэтому в основной группе вместо 48 баллов при оценке качества керамических коронок по эстетическим параметрам получилось 56 баллов из-за цветового несоответствия после скоростного обжига. Но так как это касалось коронок на моляры, и пациенты были согласны с цветом протезов, то коронки были фиксированы постоянно. Данные таблицы 16 свидетельствуют о полном совпадении баллов на всех сроках наблюдения по всем критериям у керамических коронок из диоксида циркония «Zisceram Т» после скоростного спекания (пациенты основной группы) и после традиционного многочасового спекания (контрольная группа) показателям нормы.

К данным из таблиц 15 и 16 следует добавить оценки по критерию «мнение пациента» - все пациенты на всех сроках наблюдения, как в контрольной группе, так и в основной группе были довольны качеством

ортопедического лечения, конкретно, качеством коронок. Даже те пациенты, у которых с позиций лечащего врача не удалось достичь полного совпадения цвета коронок с цветом рядом стоящих зубов, поставили оценку [А], так как «неудачные» по цвету коронки были фиксированы на незаметные при разговоре вторые моляры (2 на нижней челюсти и 2 на верхней челюсти) и 2 – на внутрикостные имплантаты (по одному на каждой челюсти 2.7 и 3.7).

Очень важно отметить, что за весь период наблюдения мы не выявили ни одного случая поломок или сколов, возникновения трещин в керамических коронках, изготовленных как по скоростному, так и по традиционному режиму обжига.

Слизистая оболочка в контактной области керамических коронок не имела отклонений от симметричной зоны.

Анализ гигиеничности коронок в основной и контрольной группах в сравнении с симметричными гомологичными зубами и зубами-антагонистами свидетельствует о низкой адгезии микроорганизмов полированной и глазурованной поверхностью коронок из керамики «Ziceram T» как после традиционного многочасового обжига, так и при применении технологии скоростного спекания.

Применение диодного аппарата АФС подтвердило отсутствие дефектов в коронках на всех сроках наблюдения и отсутствие патологических изменений слизистой оболочки рта в контактных с керамическими коронками зонах (протезное поле).

Каждая коронка у каждого пациента подвергалась динамическому клиническому обследованию по 8 критериям, подробно описанным в главе «Материалы и методы исследований» в день фиксации, через 1 месяц, до полугода ежемесячно.

В начале нашей работы при ортопедическом лечении пациентов керамическими коронками из материала «Ziceram T», спеченными по ускоренному режиму, мы, несмотря на поверхностное окрашивание, не смогли

добиться идеального совпадения по цвету с соседними зубами из-за чрезмерной светлоты быстро спеченного диоксида циркония (рисунок 19). Таких коронок с оценкой 3С в нашем исследовании было 2 и с оценкой 3В – 4 коронки на вторые моляры верхней и нижней челюсти. Так как этот эстетический дефект был не заметен при разговоре и не вызвал у пациентов негативное восприятие, мы зафиксировали их и провели динамическое наблюдение. Как и ожидалось на протяжении всего срока наблюдения (до полугода), цвет этих коронок не изменился. По остальным клиническим параметрам коронки уверенно соответствовали высшим оценкам «А». При выполнении клинической части работы и подборе пациентов в основную группу имелись определенные сложности с выбором пациентов с показаниями для протезирования премоляров верхней челюсти из-за недостаточно высокой прозрачности быстро спечённых коронок. Это объясняется результатами наших лабораторных исследований, убедительно показавших, что скоростной обжиг приводит в сравнении с традиционным многочасовым к существенному снижению показателя прозрачности и увеличению светлоты. Поэтому в дальнейшей нашей работе мы применяли специально изготовленную расцветку из материала «Ziceram T», которую подвергли скоростному обжигу по оптимальному режиму.

В целом, результаты клинических исследований позволяют рекомендовать для широкого применения использование технологии скоростного обжига при протезировании боковых зубов керамическими коронками из отечественных заготовок материала на основе диоксида циркония «Ziceram T», как успешно выдержавшее апробацию по критериям достаточной прочности, гигиеничности и биосовместимости.

Ограничением клинического применения исследованной перспективной технологии экспресс-обжига является эстетический недостаток быстро спеченного диоксида циркония «Ziceram T» - его низкая прозрачность. Считаем целесообразным продолжить научные исследования в области

совершенствования составов керамик на основе диоксида циркония и новых технологических приемов по увеличению прозрачности диоксида циркония после скоростного спекания. Как показывает анализ обзора литературы, уже намечены несколько направлений достижения этой цели. Но даже те результаты, которые мы получили в клинической части нашей диссертации следует расценивать как весьма положительный опыт импортозамещения и существенного повышения результатов стоматологического ортопедического лечения пациентов за счет многократного сокращения времени ожидания пациентом результатов протезирования.

Для иллюстрации результатов клинического применения керамических коронок из отечественного материала на основе диоксида циркония «Ziceram T», спеченных по разработанным режимам скоростного обжига приводим краткий фотопротокол с результатами критериальной оценки качества проведенного ортопедического лечения пациента основной группы.

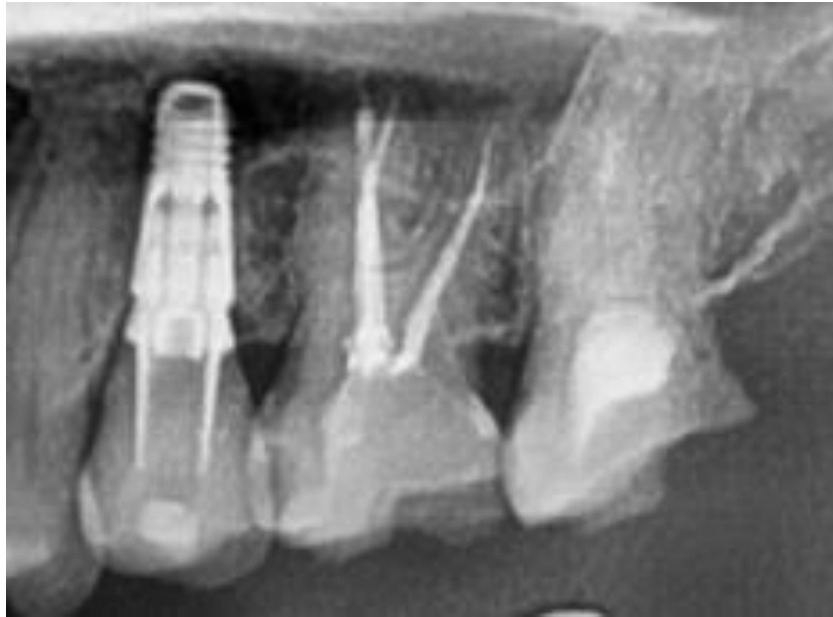


Рисунок 26 - Пациент П, 49 лет, основная группа. ОПТГ до протезирования, зуб 2.7

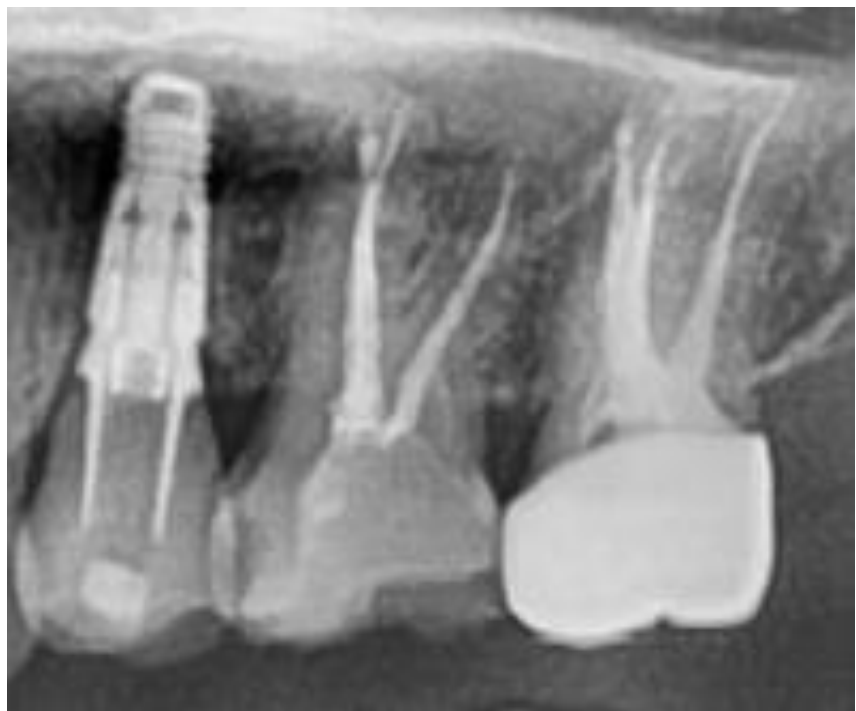


Рисунок 27 - Пациент П, 49 лет, основная группа. ОПТГ через 6 мес. после фиксации коронок, зуб 2.7, критерий № 6 – оценка А, 1 балл





Рисунок 27 - Пациент С, 55 лет, основная группа. Зуб 2.6, препарированный под керамическую коронку



Рисунок 28 - Пациент С, 50 лет, основная группа. Керамическая коронка на зуб 2.6, обожженная по скоростному режиму, фиксированная стеклоиономерным цементом, критерий №1 – оценка А, 1 балл



Рисунок 29 - Пациент С, 50 лет, основная группа. Керамическая коронка на зуб 2.6, обожженная по скоростному режиму, окрашенная кариеc маркером. 6 мес. после фиксации, критерий №2 – оценка А, 1 балл



Рисунок 30 - Пациент С, 50 лет, основная группа. Керамическая коронка на зуб 2.6, обожженная по скоростному режиму, под светом аппарата АФС. 6 мес. после фиксации, критерий № 4 – оценка А, 1 балл

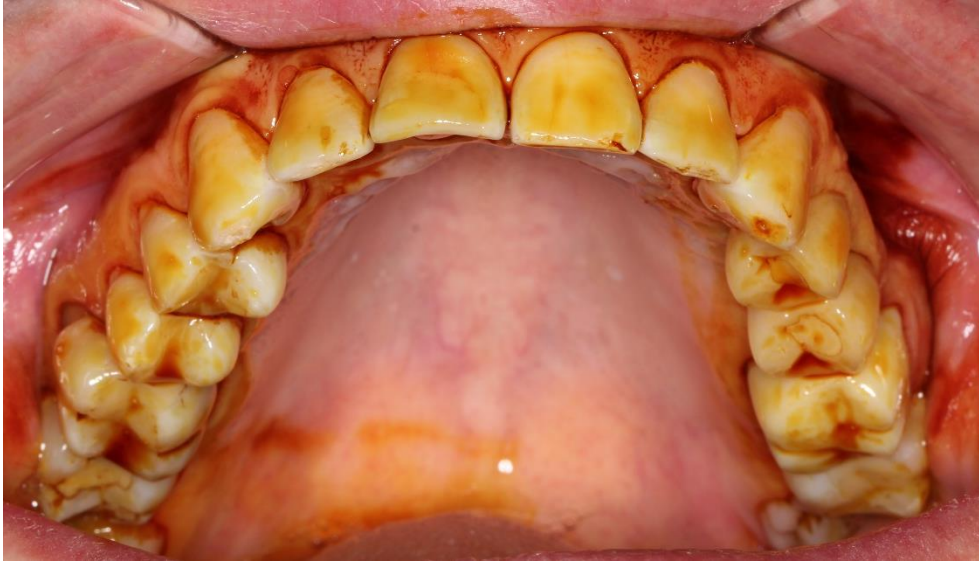


Рисунок 32 - Пациент С, 50 лет, основная группа. Керамическая коронка на зуб 2.6, обожженная по скоростному режиму, контроль состояния пародонта, 6 мес. после фиксации, критерий № 7, оценка А, 1 балл



Рисунок 32 - Пациент С, 50 лет, основная группа. Керамическая коронка на зуб 2.6, обожженная по скоростному режиму, контроль гигиены, 6 мес. после фиксации, критерий № 5, оценка А, 1 балл

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенная диссертационная работа посвящена крайне важному аспекту современной прикладной науки – решению практических проблем импортозамещения самых современных стоматологических материалов и технологий. К таким наиболее востребованным из современных материалов относится стоматологическая керамика на основе диоксида циркония, а к ультрасовременным технологиям зубопротезирования безметалловыми зубными протезами следует отнести, несомненно, CAD/CAM методику «Chairside», то есть изготовление зубного протеза непосредственно у кресла пациента в клинике без применения зуботехнической лаборатории в очень короткий срок – в одно посещение (1,5-2 ч).

Проведенный анализ специальной литературы по данному вопросу за последние 12 лет свидетельствует о постоянном росте числа публикаций на эту тему, подтверждая актуальность выбранного нами направления для исследований. Многие авторы публикуют результаты физико-механических исследований особенностей скоростного спекания керамических образцов на основе диоксида циркония [38, 65]. Изучаются режимы скоростного спекания и их влияние на прочностные параметры [75, 80]. Получаемые при этом результаты нередко противоречивы: одни приходят к выводу о повышении прочности керамики на основе диоксида циркония после быстрого спекания [52], другие – наоборот [49], третьи – режим обжига не влияет на прочность [51,76]. Объясняется это различным составом изучаемых керамик и различным их строением.

Общим выводом всех изученных работ является заключение о необходимости разработки специальной технологии скоростного спекания для каждой разновидности стоматологической керамики на основе диоксида циркония, а также изучения особенностей зубных протезов из конкретного диоксидциркониевого материала с позиции прочности, эстетичности, клинической пригодности. Отсюда вполне логично вытекает основное



содержание и цель настоящей диссертации - многогранное изучение особенностей протезирования зубными коронками из отечественного керамического материала на основе диоксида циркония «Ziceram T» (Циркон Керамика, Санкт-Петербург) с использованием скоростного спекания керамического изделия.

Указанный материал «Ziceram T» выпускается российским предприятием в виде дисков различных цветов диаметром 98.5 мм (который пригоден для большинства открытых стоматологических CAD/CAM систем), различной толщины из исходного сырья японской фирмы TOSOH. Материал разрешен к клиническому применению на основании регистрационного удостоверения Росздравнадзора № РЗН 2018/6961. В наших исследованиях мы использовали образцы стоматологической керамики на основе диоксида циркония «Ziceram T» цвета А2 потому, что данный цвет наиболее востребован в стоматологии.

В работе использовали классическую методику исследования – сравнение опытных (авторских) режимов обжига керамики с контрольным стандартным режимом. В качестве стандартного режима традиционного многочасового окончательного обжига («синтеризации») мы использовали следующий режим: скорость подъема температуры 8 °С/мин, выдержка при температуре 1550 °С в течение 120 мин, скорость охлаждения 8 °С/мин с общим временем программы около 500 мин. Этот оптимальный режим разработан Эрнестом Ллака – аспирантом РУДН совместно с нами и *опубликован* в совместной работе [23].

Для поиска оптимальных режимов скоростного обжига в качестве критериев качества использовали 2 аспекта: прочностные характеристики получаемых в результате обжига изделий и скорость спекания, а также эстетические параметры, в первую очередь, - прозрачность керамики на основе диоксида циркония, так как это основополагающие параметры всех функционально-эстетичных зубных протезов. Для исследования были выбраны современные международно признанные методы испытаний по

стандарту ISO 6872:2015 и по ГОСТ Р 58165-2018 (ISO/TR 28642:2016). Количественные результаты подвергали статистической обработке с применением критерия Стьюдента.

Для поиска оптимальных режимов скоростного спекания образцов стоматологической керамики на основе диоксида циркония «Zisceram T» нами использованы параметры, описанные в специальной литературе, и специальные печи (6 разных моделей различных зарубежных производителей, т.к. наша промышленность их выпуск пока не освоила) для обжига диоксида циркония, предназначенные для скоростного спекания. Анализ инструкций позволил выбрать 10 программ экспресс обжига, которые и были применены на начальном этапе нашего исследования. Анализ результатов механических испытаний образцов, обожженных по предустановленным программам, показал, что все образцы, обожженные по всем предустановленным программам во всех шести примененных печах, имеют прочность при изгибе, которая достаточна, согласно международному стандарту для изготовления одиночных керамических коронок в передних и боковых отделах зубных рядов верхней или нижней челюстей (более 300 МПа). То есть каждая из использованных программ и печей пригодна (по показателю прочности на изгиб) для изготовления керамических коронок из отечественных заготовок на основе диоксида циркония «Zisceram T» с применением скоростного обжига коронок. Казалось бы, что на этом можно было остановить дальнейшие исследования и проводить ортопедическое лечение керамическими коронками из отечественных заготовок керамики на основе диоксида циркония с применением скоростного спекания в любой печи для «Chairside» технологии.

Научное исследование всегда преследует цель не простого получения количественных данных, а выявления закономерностей, попытка найти которые была предпринята нами в процессе изучения влияния определенных параметров скоростного спекания на прочность при изгибе.

Исследование зависимости прочности образцов при изгибе от общей продолжительности спекания выявило отсутствие какой-либо закономерности.

Наряду с этим анализ режимов экспресс-обжига выявил существенное влияние максимальной температуры спекания на показатели прочности образцов при изгибе. Анализ данных показал, что увеличение температуры спекания приводит к росту показателей от  $605 \pm 87$  МПа при  $1460^{\circ}\text{C}$  до  $718 \pm 99$  МПа при  $1580^{\circ}\text{C}$ . Максимальный показатель прочности исследованных образцов получен нами при использовании печи «SpeedFire» фирмы Дентсплай Сирона (США, Германия), однако для обжига образцов в этой печи невозможно использовать произвольно выбранные режимы, поскольку обжиг осуществляется автоматически по режиму, установленному компьютером с учетом массы обжигаемого протеза после его фрезерования этой же компьютерной системой. Поэтому продолжение исследований мы осуществили на печи «Programat CS6» (фирмы Ивоклар Вивадент, Лихтенштейн), представляющей собой усовершенствованный вариант специализированной печи для экспресс-технологии «ChairSide», что производитель анонсировал в самом названии печи «CS».

На печи «Programat CS6» мы провели 10 серий обжигов образцов по разным режимам с варьированием температуры (от  $1480^{\circ}$  до  $1550^{\circ}$  C), продолжительности спекания (5 и 10 мин) и скорости нагрева (100 и 200  $^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ), с вакуумированием рабочей камеры или без него.

Лучшие по прочности образцы были получены нами по программе №4 с продолжительностью спекания 69 мин. Однако для изготовления зубопротезной конструкции лучшей мы сочли программу №5 – с продолжительностью спекания в 3 раза короче (22 мин), что имеет принципиальное значение для технологии «chairside». Важно отметить, что при всех изученных режимах обжига в печи «Programat CS6» образцы имели очень высокие показатели прочности, вдвое превышающие требование в 300

МПа по международному стандарту ISO 6872-2018 для материала керамических зубных коронок.

Таким образом, по итогам данного фрагмента лабораторной части диссертационной работы с учетом обоих критериев (прочность протезов и скорость процесса), оптимальной методикой изготовления зубных коронок из отечественных заготовок керамики на основе диоксида циркония «Zisegam T» был признан режим №5: спекание в течение 22 мин при скорости нагрева 200°С/мин с выдержкой 5 мин при максимальной температуре 1480°С и при скорости охлаждения 70 °С/мин.

Помимо решения конкретной практической задачи разработки оптимального режима спекания конкретного отечественного материала на основе диоксида циркония, полученные результаты важны с практической точки зрения для подготовки медико-технического задания для проектирования отечественной стоматологической печи для экспресс-обжига диоксида циркония, которая находится в процессе разработки на предприятии Аверон в Екатеринбурге. Например, полученные результаты показали, что такая печь не обязательно должна нагреваться до 1600 °С, достаточно и 1500°С, что значительно упрощает разработку и делает печь существенно дешевле.

Важным разделом лабораторной части диссертационной работы было изучение эстетических показателей керамических образцов из отечественных заготовок (показателей цвета и прозрачности) при использовании методики скоростного спекания. Анализ результатов изучения цветовых характеристик (по CIE Lab) образцов после спекания по различным режимам показал, что при повышении температуры спекания от 1480°С до 1550°С изменяются все три характеристики, но по-разному: показатель светлоты «L» увеличивается, а значения показателей «a» и «b» снижаются, то есть цвет образцов становится более светлым, менее желтым и менее красным. Мы также определили показатели цвета у образцов, обожженных при 1550 °С с выдержкой 5 мин, но



при более резком наборе температуры: 200 °С/мин вместо 100 °С/мин. Параметры светлоты «L» при этом снизились, но повысились показатели «a» и «b».

Полученные свидетельства о разнонаправленном влиянии режимов скоростного спекания керамических образцов из отечественных заготовок «Ziceram T» послужили основанием для проведения новой серии экспериментов не только с анализом конкретных цветовых характеристик при разных скоростных режимах, но также с расчетом интегрального показателя  $\Delta E$ , определяющего близость цвета к цвету контрольного образца, обожженного по классическому режиму. Клинически приемлемым различием цветов считается величина  $\Delta E$  не более 2.7 (ГОСТ Р 58165-2018 ISO/TR28642:2016).

По нашим данным, скоростные режимы обжига приводят к существенному различию цветов быстро спеченного и контрольного образцов. Поэтому для практического применения керамики на основе диоксида циркония из отечественных заготовок «Ziceram T» при протезировании коронками целесообразно готовить и применять специальную шкалу расцветок – эталоны керамики после экспресс-обжига.

Одним из следствий данного раздела исследований является тезис о целесообразности разработки новых рецептур стоматологических керамик на основе диоксида циркония, специально предназначенных для скоростного спекания, с повышенной прозрачностью при сохранении достаточной прочности.

Завершающим этапом лабораторных исследований явилось изучение показателей прозрачности керамических образцов после разных режимов обжига. Наши исследования показали, что параметр прозрачности незначительно колеблется в зависимости от температуры спекания, скорости нагрева и охлаждения, выдержки при максимальной температуре (в выше указанных диапазонах), но не превышает 11%. Это вдвое меньше

прозрачности контрольных образцов (17%). Поэтому мы сделали заключение об ограничении показаний к применению монокоронки из керамики «Ziceram T» во фронтальном отделе зубного ряда, изготовленных по технологии скоростного спекания, из-за очень низкой прозрачности.

Клиническая часть работы основана на сравнительном анализе результатов стоматологического ортопедического лечения двух групп пациентов общим числом 24 человека, сформированных в соответствии с принципами доказательной медицины с использованием критериев включения, не включения и исключения. Пациентам основной группы с дефектами боковых зубов были изготовлены одиночные коронки с использованием отечественных заготовок керамики на основе диоксида циркония «Ziceram T» с экспресс-обжигом по разработанной в лабораторной части диссертации оптимальной методике. В контрольной группе, аналогичной по полу, возрасту, стоматологическому статусу основной группе, керамические коронки изготавливали из того же отечественного материала, но по традиционному многочасовому технологическому процессу. Все клинические этапы и использованные стоматологические материалы у пациентов обеих групп были аналогичными. Качество ортопедического лечения оценивали на ежемесячных периодических осмотрах в течение полугода, проводя стандартное клиническое обследование, а также обследование с использованием 7 критериев FDI по оценке прочности керамических протезов, их гигиеничности и биосовместимости. Дизайн клинического исследования одобрен Комитетом по этике Медицинского института РУДН (Протокол №16 от 19.03.2020).

Клинические и аппаратные методы контроля качества проведенного ортопедического лечения проводили в день фиксации коронок, а также через 1, 2, 3, 4, 5 и 6 мес. Под нашим динамическим наблюдением находились пациенты с 36 коронками из керамики «Ziceram T», 20 из которых были изготовлены по традиционному многочасовому режиму, 16 – по скоростному. Большинство

коронки в основной и контрольной группах были изготовлены на депульпированные зубы (соответственно 10 и 12), 8 коронок в контрольной группе и 6 коронок в основной группе были изготовлены на дентальные имплантаты. 16 коронок были изготовлены на премоляры, 20 – на моляры; 20 коронок на верхней челюсти, 16 – на нижней. Срок клинической апробации (6 месяцев) обоснован двумя аспектами. Во-первых – это особенность поломок керамических и металлокерамических зубных протезов. Специальными исследованиями установлено, что наибольший процент поломок таких протезов происходит либо в ближайшие сроки после фиксации (3-4 мес.), либо в отдаленные (более 2х лет) сроки. Причиной поломок в раннем периоде являются технологические погрешности и недостаточное качество материала протезов; причинами поломок в удаленные сроки являются клинические перегрузки протезированных зубов в результате бытовой травмы или изменения клинической ситуации во рту (удаление зубов, перепротезирование и т.п.) [13]. Кроме того, срок 6 месяцев является минимальным сроком гарантии на изготовленные зубные протезы при стоматологическом ортопедическом лечении.

Все пациенты на всех сроках наблюдения как в контрольной, так и в основной группе были довольны качеством ортопедического лечения и, конкретно, качеством коронок. За весь период наблюдения мы не выявили ни одного случая поломок или сколов, возникновения трещин в керамических коронках, изготовленных как по скоростному, так и по традиционному режиму обжига. Слизистая оболочка рта в контактной области керамических коронок не имела отклонений от симметричной зоны. Анализ гигиеничности коронок в основной и контрольной группах в сравнении с симметричными зубами и зубами-антагонистами свидетельствует о низкой адгезии микроорганизмов полированной и глазурованной поверхностью коронок из керамики «Zisceram T». Применение диодного аппарата АФС подтвердило отсутствие дефектов в коронках и патологии протезного поля.

Таким образом, в комплексные диссертационные исследования нами получены следующие результаты:

- разработана ускоренная методика изготовления зубных коронок из отечественных керамических заготовок на основе диоксида циркония, что является важным импортозамещающим фактом и значительно повышает эффективность ортопедического лечения пациентов прочными, эстетичными и биосовместимыми безметалловыми зубными протезами;

- проведена клиническая апробация авторской методики, которая показала возможность, целесообразность и высокую эффективность ортопедического лечения пациентов с дефектами коронок зубов керамическими коронками, фрезерованными из отечественных заготовок керамики на основе диоксида циркония «Ziceram T» с применением их скоростного обжига;

- оптимизированы режимы скоростного обжига диоксидциркониевой керамики для протезирования с использованием отечественных заготовок;

- уточнены показания к применению зубных коронок из отечественных керамических заготовок на основе диоксида циркония с применением их скоростного обжига.

Результаты клинических и лабораторных исследований позволяют рекомендовать использование технологии скоростного спекания для изготовления керамических коронок из отечественных заготовок материала на основе диоксида циркония «Ziceram T» для протезирования боковых зубов по критериям достаточной прочности, гигиеничности и биосовместимости.

Реализованный в данной работе дизайн исследований может быть использован для разработки оптимальных режимов скоростного обжига ультрасовременных отечественных многослойных заготовок керамики на основе диоксида циркония, выпуск которых недавно освоили в Белгороде и Санкт-Петербурге.

## ВЫВОДЫ

1. Анализ специальной литературы выявил противоположные мнения исследователей по вопросу влияния режимов скоростного обжига на свойства стоматологической диоксидциркониевой керамики, что можно объяснить использованием различных составов зубопротезной керамики, при этом общее заключение состоит в необходимости разработки специальной методики скоростного спекания для каждого конкретного материала на основе диоксида циркония.

2. Установлено, что режимы ускоренного обжига отечественных образцов зубных коронок из керамики на основе полупрозрачного диоксида циркония «Zisceram T»: скорость нагрева, температура обжига, выдержка при этой температуре, разнонаправленно влияют на прочность при трехточечном изгибе.

3. Показано, что скоростной обжиг образцов керамики на основе диоксида циркония из отечественных зубопротезных заготовок «Zisceram T» по предустановленным программам в 6 специализированных печах позволяет получать зубные коронки с большим запасом прочности (более 500 МПа) относительно стандартного норматива ISO 6872-2018 (не менее 300 МПа).

4. Разработан оптимальный режим скоростного обжига образцов отечественной керамики на основе диоксида циркония «Zisceram T» в течение 22 мин с выдержкой 5 мин при температуре 1480<sup>0</sup>С с вакуумом при скорости нагрева 200 град/мин и скорости охлаждения менее 70 <sup>0</sup>С/мин, что позволяет достичь стабильно высокой прочности при изгибе (657±38 МПа).

5. Показано, что ускоренные режимы окончательного обжига образцов зубных коронок из керамики «Zisceram T» существенно меняют их цветовые характеристики: при увеличении температуры спекания с 1480<sup>0</sup>С до 1550<sup>0</sup>С все три показателя цвета в системе CIE L\*a\*b\* изменяются хаотично. Светлота увеличивается с +75.5 до +77.9; показатель «b» по мере увеличения

температуры снижается с +11.4 до +6.9; то есть цвет образцов становится менее желтым; показатель «а» при повышении температуры увеличивается с -2.7 до -2.3, и цвет образцов сдвигается в красную зону.

6. Установлено, что изменение режимов скоростного обжига исследованных образцов диоксидциркониевой керамики не сопровождается существенным изменением прозрачности, которая существенно ниже прозрачности группы контроля - менее 11%.

7. Клинические наблюдения за пациентами с керамическими коронками из полупрозрачного диоксида циркония «Ziceram T», скоростной обжиг которых был проведен по разработанной оптимальной методике, свидетельствуют о достаточной прочности этих протезов, их высокой гигиеничности и биосовместимости.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Применение скоростного обжига отечественных заготовок керамики на основе диоксида циркония «Ziceram T» целесообразно использовать для изготовления зубных коронок при протезировании в боковых отделах зубных рядов в связи с большим запасом прочности и невысокой прозрачностью получаемых коронок.

2. При изготовлении керамических коронок из отечественных заготовок на основе диоксида циркония «Ziceram T» с применением скоростного обжига пригодны все исследованные в настоящей диссертационной работе печи и режимы.

3. Для получения надежных результатов протезирования керамическими коронками из отечественных заготовок на основе диоксида циркония «Ziceram T» по методике скоростного спекания рекомендуем применять разработанный в диссертации оптимальный режим: обжиг в течение 22 минут с выдержкой 5 минут при температуре 1480<sup>0</sup>С при скорости нагрева 200 град/мин и скорости охлаждения менее 70<sup>0</sup>С /мин.

4. При ортопедическом лечении пациентов монолитными керамическими коронками из отечественных заготовок на основе диоксида циркония «Ziceram T» рекомендуем использовать традиционные врачебные методики. При использовании технологии скоростного спекания керамики для выбора цвета будущей искусственной коронки рекомендуем специально готовить и применять шкалу расцветок с керамическими эталонами из материала на основе диоксида циркония «Ziceram T», обожженными по скоростному режиму в имеющейся специализированной для этого печи.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ**

ГОСТ - государственный стандарт

НТД - низкотемпературная деградация

CAD/CAM - Computer-aided design/ Computer-aided manufacturing

FDI - Fédération dentaire internationale

ISO - International Organization for Standardization

ОР - опалесценция



**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Антонова И.Н. Цельнокерамические материалы для стоматологической практики: аналитический обзор в соответствии с новой классификацией /И.Н. Антонова, В.С. Никитин, О.С. Полтавец // Институт стоматологии. – 2020. - №3. – С.84-86
2. Арутюнов, А.С. Одонтопрепарирование при лечении винирами и керамическими коронками / А.С. Арутюнов, А.И. Лебедеико, И.Ю. Лебедеико, Т.Э. Глебова. - Москва: Изд-во Молодая гвардия, 2008. – 136 с.
3. Арутюнов, С.Д. Материаловедение в ортопедической стоматологии. Пропедевтика стоматологических заболеваний / С.Д. Арутюнов, И.Ю. Лебедеико, Н.Н. Мальгинов, Д.И. Грачев, И.М. Левченко. – М.: Издательский дом «Практическая медицина, 2019. - 80с.
4. Арутюнов, С.Д. CEREC-технология реставрации зубов / С. Д. Арутюнов, С. М. Вафин, Т. Э. Глебова [и др.]. – Москва: ООО "НОВИК", 2012. – 114 с.
5. Вафин, С.М. Сравнительная характеристика керамических блоков VITABlocs Mark 2 и ситалловых блоков Симет: автореф. дис. ...канд. мед. наук: 14.01.14 / Вафин Станислав Мансурович. – М., 2005. – 20 с.
6. Горяинова, К.Э. Оптимизация ортопедического лечения зубными коронками, изготовленными CAD/CAM-методом у кресла пациента: дис. ... канд. мед. наук: 14.01.14 / Горяинова Кристина Эдуардовна. – М., 2017. – 189 с.
7. Горяинова, К.Э. Сравнительная оценка прочности стоматологических материалов для методики CAD/CAM у кресла пациента / К.Э. Горяинова, Ф.С. Русанов, И.Я. Поюровская, М.В. Ретинская, И.Ю. Лебедеико // Российский стоматологический журнал. - 2016. - № 3 (20). - С. 116- 120.
8. ГОСТ Р 58165-2018 Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Национальный стандарт Российской Федерации. Стоматология. Руководство по измерениям цвета, Москва Стандартинформ, 2018. -12 с.

9. Дьяконенко, Е.Е. Эстетика монолитных зубных протезов на основе диоксида циркония / Е.Е. Дьяконенко, И.Ю. Лебеденко // Зубной техник. – 2018. №3. – С. 22-32.
10. Золотницкий, И.В. Метод несъемного зубного протезирования музыкантов, играющих на медных духовых инструментах / И.В. Золотницкий, С.А. Хрынин, М.А. Прокопова, А.Н. Чикина // Dental Forum. - 2015. - № 4. - С. 34.
11. Иванов, А.С. Диоксид циркония как современный материал для зубных протезов и имплантатов / А.С. Иванов, Д.В. Мартынов, В.Н. Олесова, Р.С. Заславский, К.В. Шматов, А. Я. Лернер, Д.И. Морозов // Российский стоматологический журнал. - 2019. - № 1 (23). - С. 4-6.
12. Ковальская, Т.В. Применение вкладок из ситалла, изготовленных методом компьютерного фрезерования: автореф. дис. ...канд. мед. наук: 14.01.14 / Ковальская Татьяна Владимировна. – М., 2000. – 20 с.
13. Копейкин, В.Н. Реставрация металлокерамических зубных протезов во рту пациентов / В.Н. Копейкин, И.Ю. Лебеденко, В.А. Козлов, С.В. Анисимова, А.И. Лебеденко, А.Ю. Малый, Ю.Ф. Титов // Стоматология. - 1996. - № 6 (75). - С. 74.
14. Лебеденко, А.И. Влияние формы уступа на напряженно-деформированное состояние цельно-керамических коронок / А.И. Лебеденко, Золотницкий И.В., Быкова // Вестник стоматологии. - 2001. - № 3. - С. 81-83.
15. Лебеденко, И. Ю. Опыт применения диоксида циркония в стоматологии. Часть II / И. Ю. Лебеденко, В. И. Хван, М. С. Деев, А. И. Лебеденко // Российский стоматологический журнал. – 2008. – № 5. – С. 60-64.
16. Лебеденко, И. Ю. Прозрачная керамика на основе диоксида циркония для изготовления монолитных зубных протезов. Обзор публикаций в международных журналах. Часть 1 / И.Ю. Лебеденко, Е.Е. Дьяконенко, Д.А. Сахабиева, Э. Ллака // Стоматология. – 2020. – № 5(99). – С. 111-115.

17. Лебеде́нко, И. Ю. Прозрачная керамика на основе диоксида циркония для изготовления монолитных зубных протезов. Обзор публикаций в международных журналах. Часть 2 / Е.Е. Дьяконенко, Д.А. Сахабиева, Э. Ллака // *Стоматология*. – 2020. – № 6(99). – С. 101-106.

18. Лебеде́нко, И.Ю. CAD/CAM технология реставрации зубов. / И.Ю. Лебеде́нко, С.М. Вафин, Т.Э. Глебова // Учебное пособие. Издательство: Практическая медицина, 2014.

19. Лебеде́нко, И.Ю. CEREC: новые горизонты / И.Ю. Лебеде́нко, М.В. Ретинская, Н.К. Вураки // *Cathedra - кафедра. Стоматологическое образование*. - 2014. - № 48. - С. 40-41.

20. Лебеде́нко, И.Ю. Компьютерные реставрационные технологии в стоматологии. Реальность и перспективы / И.Ю. Лебеде́нко, А.Б. Перегудов, С.М. Вафин // *Стоматология для всех*. – 2002. - №1. – С. 21-25.

21. Лебеде́нко, И.Ю. Ортопедическая стоматология - национальное руководство / И. Ю. Лебеде́нко, С.Д. Арутюнов, А.Н. Ряховский. - Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2016. – 817 с.

22. Лебеде́нко, И.Ю. Современные отечественные материалы для безметалловых зубных протезов / И.Ю. Лебеде́нко // *Стоматология*. - 2017. - № 1(96). - С. 60-62.

23. Ллака, Э., Воронов И. А., Сахабиева Д. А., Лебеде́нко И. Ю. Клиническая апробация применения монолитных мостовидных зубных протезов из полупрозрачного диоксида циркония «Zisceram T» // *Проблемы стоматологии*. – 2021. – №4 (17). – С.120-124.

24. Мельник, А.С. Обзор современных материалов для изготовления керамических коронок у кресла пациента методом компьютерного фрезерования / А.С. Мельник, К.Э. Горяинова, И.Ю. Лебеде́нко // Российский стоматологический журнал. - 2014. - № 6 (18). - С. 24-28.

25. Мельник, А.С., Обзор современных chairside CAD/CAM материалов / А.С. Мельник, К.Э. Горяинова, И.Ю. Лебеденко // Цифровая стоматология. - 2015. - № 1. С. 30-31
26. Михайлина, Н. А. Керамика на основе тетрагонального диоксида циркония для реставрационной стоматологии / Н.А. Михайлина, Л. И. Подзорова, М. Н. Румянцева, Л. И. Шворнева, О. А. Овчинникова, С. В. Анисимова, И. Ю. Лебеденко, А. И. Лебеденко, В. И. Хван // Перспективные материалы. – 2010. - №3. - С. 44-48.
27. Назарян, Р.Г. Сравнительная оценка эффективности ортопедического лечения мостовидными протезами из монолитного или облицованного диоксида циркония: дис. ... канд. мед. наук: 14.01.14 / Назарян Рузанна Гагиковна. – М., 2016. – 139 с.
28. Олесова, В.Н., Отдаленные результаты замещения включенных дефектов зубных рядов керамическими протезами на каркасах из диоксида циркония / В.Н. Олесова, Н.О. Гришкова, А.В. Жаров, Т.Н. Новоземцева, А.А. Ремизова // Медицинский алфавит. - 2016. - Т. 3. - № 21 (284). - С. 30-32
29. Ретинская М.В., К.Э. Горяинова, Ф.С. Русанов, И.Ю. Лебеденко Научное обоснование выбора материала для CEREC коронок // Стоматология б, 2016, 2, 110-111
30. Ряховский, А.Н. Цифровая стоматология //А.Н. Ряховский, М.: 2010, 282 с.
31. Сахабиева, Д. А. Влияние режимов обжига стоматологической оксидциркониевой керамики на цветовые характеристики и показатели прочности / Д.А. Сахабиева, Э. Ллака // Актуальные вопросы в стоматологии: тезисы докладов. Всероссийская межвузовская научно-практическая конференция молодых ученых с международным участием (27 мая 2021 г., г. Москва). –М.: ЦГМА -2021. – С.30-31.

32. Сахабиева, Д.А. Клиническая апробация chairside коронок из диоксида циркония «Ziceram T» / Д.А. Сахабиева, М.С. Деев, И.Ю. Лебеденко // Danish Scientific Journal. - 2022. - №63. - С. 44-46.

33. Спеченные керамические диски на основе оксида циркония [Электронный ресурс] / ВладМиВа: <http://www.vladmiva.ru/escatalog/product-145/> (дата обращения 21.02.2022) ЭСТКЕР/диски/UT-PRESHADED/A (vladmiva.ru)

34. Хван В.И. диссертационная работа на тему: Лабораторно-экспериментальное обоснование ортопедического лечения зубными протезами с опорой на стекловолоконные и диоксидциркониевые супраструктуры: дис. ... канд. мед. наук: 14.01.14 / Хван Вячеслав Игорьевич. – М., 2010. – 188 с.

35. Хван, В.И. Исследование прочности диоксида циркония и стекловолокна / В.И. Хван // CATHEDRA. – 2009. - №30/31. – С. 60-62

36. Цаликова, Н.А. Компьютерные технологии в ортопедической стоматологии / Н.А. Цаликова, М.Г. Дзгоева, О.А. Фарниева // Владикавказский медико-биологический вестник. - 2013. - Т. 16. - № 24-25. - С. 98-103.

#### Список иностранной литературы

37. Ahmed, Walaa M et al. The influence of altering sintering protocols on the optical and mechanical properties of zirconia: A review // *Journal of esthetic and restorative dentistry: official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry ... [et al.]*. 2019, vol. 31, no. 5, pp. 423-430.

38. Al-Haj Husain, Nadin et al. Conventional, Speed Sintering and High-Speed Sintering of Zirconia: A Systematic Review of the Current Status of Applications in Dentistry with a Focus on Precision, Mechanical and Optical Parameters // *Journal of clinical medicine*. 2022, vol. 11, no. 16, pp. 4892-4892.

39. Alp, Gülce et al. Effect of shading technique and thickness on color stability and translucency of new generation translucent zirconia // *Journal of dentistry*. 2018, vol. 73, pp. 19-23.

40. Alqahtani, Mohammed Q et al. The effects of different shades of resin luting cement on the color of ceramic veneers // *Dental materials journal*. 2012, vol. 31, no. 3, pp. 354-361.
41. Al-Zordk, Walid, and Samah Saker. Impact of sintering procedure and clinical adjustment on color stability and translucency of translucent zirconia // *The Journal of prosthetic dentistry*. 2020, vol. 124, no. 6, pp. 788.e1-788.e9.
42. Baldissara, Paolo et al. Translucency of IPS e.max and cubic zirconia monolithic crowns // *The Journal of prosthetic dentistry*. 2018, vol. 120, no 2, pp. 269-275.
43. Ban S. Chemical durability of high translucent dental zirconia // *Dental Materials Journal*. 2020; vol. 39, no.1, pp. 12–23.
44. Ban, Seiji et al. Biaxial flexure strength and low temperature degradation of Ce-TZP/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposite and Y-TZP as dental restoratives // *Journal of biomedical materials research. Part B, Applied biomaterials/* 2008, vol. 87, no. 2, pp. 492-498.
45. Camposilvan E, et al. Aging resistance, mechanical properties and translucency of different yttria-stabilized zirconia ceramics for monolithic dental crown applications // *Dent Mater*. 2018, vol. 34, no. 6, pp. 879-890.
46. Cercon® xt, Cercon® ht // [Электронный ресурс] / Dentsply Sirona: [https://www.dentsplysirona.com/content/dam/dentsply/pim/manufacture/Prosthetics/CAD\\_CAM\\_materials/Materials/Zirconia/Cercon\\_xt\\_disc/BRO\\_Cercon\\_EN\\_lowres.pdf](https://www.dentsplysirona.com/content/dam/dentsply/pim/manufacture/Prosthetics/CAD_CAM_materials/Materials/Zirconia/Cercon_xt_disc/BRO_Cercon_EN_lowres.pdf)
47. CEREC SpeedFire. [Электронный ресурс] / Dentsply Sirona: <https://www.dentsplysirona.com/ru-ru/explore/cerec/sinter-with-cerec.html>\_\_\_\_(дата обращения 20.10.2022)
48. Chevalier J., et al. Low-temperature aging of Y-TZP ceramics // *Journal of the American Ceramic Society*. 1999; vol. 82, no. 8, pp. 2150–2154.
49. Cokic, Stevan M et al. Mechanical properties, aging stability and translucency of speed-sintered zirconia for chairside restorations // *Dental materials:*

*official publication of the Academy of Dental Materials*. 2020, vol. 36, no 7, pp. 959-972.

50. Denry, Isabelle, and J Robert Kelly. State of the art of zirconia for dental applications // *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*. 2008, vol. 24, no. 3, pp. 299-307.

51. Ebeid, Kamal et al. Effect of changes in sintering parameters on monolithic translucent zirconia.” *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*. 2014, vol. 30, no. 12, pp. 419-424.

52. Ersoy, Nuri Murat et al. The effects of sintering temperature and duration on the flexural strength and grain size of zirconia // *Acta biomaterialia odontologica Scandinavica*. 2015, vol. 1, no. 2-4, pp. 43-50

53. Eurofire S2. [Электронный ресурс] / Omitec: <http://omitec.ru/furnices> (дата обращения 20.10.2022)

54. Fathy, Salma M et al. Translucency of monolithic and core zirconia after hydrothermal aging // *Acta biomaterialia odontologica Scandinavica*. 2015, vol. 1, no. 2-4, pp. 86-92.

55. Ghodsi, S, and Z Jafarian. A Review on Translucent Zirconia // *The European journal of prosthodontics and restorative dentistry*. 2018. vol. 26, no. 2, pp. 62-74.

56. Goo, C L et al. Effect of Polishing Systems on Surface Roughness and Topography of Monolithic Zirconia // *Operative dentistry*. 2016, vol. 41, no. 4, pp. 417-423.

57. Grohmann, Philipp et al. Three-unit posterior zirconia-ceramic fixed dental prostheses (FDPs) veneered with layered and milled (CAD-on) veneering ceramics: 1-year follow-up of a randomized controlled clinical trial // *Quintessence international*. 2015, vol. 46, no.10, pp. 871-880.

58. Hafezeqoran A, Sabanik P, Koodaryan R, Ghalili KM. Effect of sintering speed, aging processes, and different surface treatments on the optical and surface

properties of monolithic zirconia restorations. *J Prosthet Dent*. 2022 Jan 30: S0022-3913(21)00690-9. doi: 10.1016/j.prosdent.2021.12.005.

59. Harsono M. et al. Evolution of Chairside CAD/CAM Dentistry Dentists who master the techniques and adapt their practices to this technology can produce chairside restorations to a high standard // *Inside Dentistry*. 2012, vol. 8, no. 11, pp. 2-8.

60. Hatanaka G. et al. The mechanical behavior of high-translucent monolithic zirconia after adjustment and finishing procedures and artificial aging // *J. Prosthet Dent*, 2020; vol. 123, no. 2, pp. 330-337.

61. Heintze S.D. et al. *Wear of ceramic and antagonist—a systematic evaluation of influencing factors in vitro* // *Dent Mater*. 2008, vol. 24, pp. 433–449.

62. Hickel, R. FDI World Dental Federation – Clinical Criteria for the Evaluation of Direct and Indirect Restorations. Update and Clinical Examples / R. Hickela, A. Peschke, M. Tyas, I. Mjörd, S. Baynee, M. Petersf, K-A. Hillerg, R. Randallh, G. Vanherlei, S.D. Heintzej // *Clinical Oral Investigations*. 2010, vol. 4, no.14, pp. 349-366.

63. ISO 6872-2018 ISO 6872:2015/Amd 1:2018. Dentistry — Ceramic materials — Amendment 1

64. Jansen, Jan Ulrich et al. Impact of high-speed sintering on translucency, phase content, grain sizes, and flexural strength of 3Y-TZP and 4Y-TZP zirconia materials // *The Journal of prosthetic dentistry*. 2019, vol. 122, no. 4, pp. 396-403.

65. Jerman, Eva et al. Effect of high-speed sintering on the flexural strength of hydrothermal and thermo-mechanically aged zirconia materials // *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*. 2020, vol. 36, no. 9, pp. 1144-1150.

66. Jiang, Li et al. Effects of sintering temperature and particle size on the translucency of zirconium dioxide dental ceramic // *Journal of materials science. Materials in medicine*. 2011, vol. 22, no. 11, pp. 2429-2435.



67. Johnston, W M et al. Translucency parameter of colorants for maxillofacial prostheses // *The International journal of prosthodontics*. 1995, vol. 8, no. 1, pp. 79-86.
68. Kaizer, Marina R et al. Speed sintering translucent zirconia for chairside one-visit dental restorations: Optical, mechanical, and wear characteristics // *Ceramics international*. 2017, vol. 43, no. 14, pp. 10999-11005.
69. Katana™Zirconia Technical guide [Электронный ресурс] / Kuraray Dental: [https://kuraraydental.com/wp-content/uploads/sds/Guides/katana\\_zirconia\\_utml\\_stml\\_tg.pdf](https://kuraraydental.com/wp-content/uploads/sds/Guides/katana_zirconia_utml_stml_tg.pdf) (дата обращения 20.10.2022)
70. Khayat, Waad et al. Effect of grinding and polishing on roughness and strength of zirconia // *The Journal of prosthetic dentistry*. 2018, vol. 119, no. 4, pp. 626-631.
71. Klimke, Jens at al. Transparent Tetragonal Yttria-Stabilized Zirconia Ceramics: Influence of Scattering Caused by Birefringence // *Journal of the American Ceramic Society*. 2011, vol. 94, pp. 1850-1858.
72. Kuroda, Soichi et al. “Effects of coloring agents applied during sintering on bending strength and hardness of zirconia ceramics // *Dental materials journal*. 2013, vol. 32, no. 5, pp. 793-800.
73. Kurtulmus-Yilmaz, Sevcan et al. Comparison of the translucency of shaded zirconia all-ceramic system // *The journal of advanced prosthodontics*. 2014, vol. 6, no. 5, pp. 415-422.
74. Li, Ling et al. Rapid-sintered dental zirconia for chair-side one-visit application // *Int. J. Appl. Ceram. Technol*. 2019, vol. 16, pp. 1830–1835.
75. Liu, Hengyi et al. Influence of high-speed sintering protocols on translucency, mechanical properties, microstructure, crystallography, and low-temperature degradation of highly translucent zirconia // *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*. 2022, vol. 38, no. 2, pp. 451-468.

76. Madruga, Camila Ferreira Leite et al. Sintering mode of a translucent Y-TZP: Effects on its biaxial flexure fatigue strength, surface morphology and translucency // *Journal of esthetic and restorative dentistry: official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry*. 2022, pp. 1-9.
77. Malkondu, Ozlem et al. Influence of type of cement on the color and translucency of monolithic zirconia // *The Journal of prosthetic dentistry*. 2016, vol. 116, no. 6, pp. 902-908.
78. Manziuc, Manuela et al. Optical properties of translucent zirconia: A review of the literature // *EuroBiotech J*. 2019, vol. 3, no. 1, pp. 45 – 51.
79. Mörmann, Werner H. The evolution of the CEREC system // *Journal of the American Dental Association*. 2006, vol. 137, pp. 7S-13S.
80. Nadal LPO, Ramos NC, Tribst JPM, Anami LC, Melo RM, Bottino MA. Interfacial Fracture Energy Between New Translucent Zirconias and a Resin Cement. *J Adhes Dent*. 2022 Apr 13;24(1):147-154. doi: 10.3290/j.jad.b2916403.
81. Nakamura Keisuke. Mechanical and Microstructural Properties of Monolithic Zirconia // *University of Gothenburg, Department of Prosthetic Dentistry/Dental Materials Science, Institute of Odontology, Gothenburg*. 2015, p. 15.
82. Nonaka, Kazumichi et al. Evaluation of the Effect of High-Speed Sintering and Specimen Thickness on the Properties of 5 mol% Yttria-Stabilized Dental Zirconia Sintered Bodies // *Materials (Basel, Switzerland)*. 2022, vol. 15, 5685, pp.1-18.
83. Pekkan, Gürel et al. Factors affecting the translucency of monolithic zirconia ceramics: A review from materials science perspective // *Dental materials journal*. 2020, vol. 39, no.1, pp. 1-8.
84. Pfefferle, Regina et al. Different polishing methods for zirconia: impact on surface, optical, and mechanical properties // *Clinical oral investigations*. 2020, vol. 24, no. 1, pp. 395-403.

85. Priti ®multidisc ZrO<sub>2</sub> [Электронный ресурс] / *Pritidenta catalog*: <https://pritudenta.com/en/products/cadcam-materials/> (дата обращения 20.10.2022)
86. Programat CS6 [Электронный ресурс] / Ivoclar Vivadent: [https://www.ivoclar.com/ru\\_ru/products/equipment/programat-cs6](https://www.ivoclar.com/ru_ru/products/equipment/programat-cs6) (дата обращения 20.10.2022)
87. Sabrah, Alaa H A et al. Full-contour Y-TZP ceramic surface roughness effect on synthetic hydroxyapatite wear // *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*, 2013, vol. 29, no. 6, pp. 666-73.
88. Shahmiri, Reza et al. Optical properties of zirconia ceramics for esthetic dental restorations: A systematic review // *The Journal of prosthetic dentistry*. 2018, vol. 119, no. 1, pp. 36-46.
89. Soult, McKinley D et al. Effect of high-speed sintering on the properties of a zirconia material // *General dentistry*. 2019, vol. 67, no. 5, pp. 30-34.
90. Stawarczyk, Bogna et al. Two-body wear of monolithic, veneered and glazed zirconia and their corresponding enamel antagonists // *Acta odontologica Scandinavica*. 2013, vol. 71, no. 1, pp. 102-112.
91. Sulaiman, Taiseer A et al. The effect of staining and vacuum sintering on optical and mechanical properties of partially and fully stabilized monolithic zirconia // *Dental materials journal*. 2015, vol. 34, no. 5, pp. 605-10.
92. Super Fast SF-700. [Электронный ресурс] / Add-in: <https://mikor.ru/pech-super-fast-sf-700> (дата обращения 20.10.2022)
93. Tabatabaian, Farhad et al. Effect of thickness of monolithic zirconia ceramic on final color // *The Journal of prosthetic dentistry*. 2018, vol. 120, no. 2, pp. 257-262.
94. Theng, Kai et al. Development of Translucent Zirconia for Dental Crown Applications // *Asian Journal of Scientific Research*. 2015, vol. 8, pp. 342-350.
95. Tran, D et al. Survey of UK dentists regarding the use of CAD/CAM technology // *British dental journal*. 2016, vol. 221, no. 10, pp. 639-644.

96. Ustun S, Ayaz EA. Effect of different cement systems and aging on the bond strength of chairside CAD-CAM ceramics // *The Journal of prosthetic dentistry*. 2021, vol.125, no. 2, pp. 334-339.
97. VITA YZ HT // [Электронный ресурс] / VITA Zahnfabrik: <https://www.vita-zahnfabrik.com/ru/Technician-Solutions/CAD/CAM-fabrication/Framework-constructions/fully-anatomic-bridges/VITA-YZ-HT-25904,27568.html> (дата обращения 20.10.2022)
98. VITA ZYRCOMAT 6100 MS [Электронный ресурс] / VITA Zahnfabrik: <https://www.vita-zahnfabrik.com/ru/VITA-ZYRCOMAT-6100-MS-78702,27568.html?markierung=6000%7Cms> (дата обращения 20.10.2022)
99. Wang, Fu et al. Translucency of dental ceramics with different thicknesses // *The Journal of prosthetic dentistry*. 2013, vol. 110, no. 1, pp. 14-20.
100. Zhang, Fei et al. Strength, toughness and aging stability of highly-translucent Y-TZP ceramics for dental restorations // *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*. 2016, vol. 32, no.12, pp. e327-e337.
101. Zhang, Y, and B R Lawn. Novel Zirconia Materials in Dentistry // *Journal of dental research*. 2018, vol. 97, no. 2, pp. 140-147.
102. Zhang, Yu. Making yttria-stabilized tetragonal zirconia translucent // *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*. 2014, vol. 30, no. 10, pp. 1195-203.
103. Ziceram® [Электронный ресурс] / ООО Циркон Керамика: <https://www.zirconceramics.ru/> (дата обращения 05.11.2019)