

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ ИМЕНИ  
ПАТРИСА ЛУМУМБЫ»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

*На правах рукописи*

**Ллака Эрнест**

**ФУНКЦИОНАЛЬНО-ЭСТЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОТЕЗИРОВАНИЯ  
ЗУБНЫХ РЯДОВ МОНОЛИТНЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ НА ОСНОВЕ  
ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ В ЭСТЕТИЧЕСКИ ЗНАЧИМОЙ ЗОНЕ С  
ОПОРОЙ НА ЗУБЫ ИЛИ ИМПЛАНТАТЫ**

3.1.7. Стоматология

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:  
д.м.н., доцент **Воронов Игорь Анатольевич**

Москва – 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

### ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования .....	4
Степень разработанности темы исследования .....	5
Цель исследования .....	7
Задачи исследования .....	7
Научная новизна.....	8
Теоретическая и практическая значимость работы .....	8
Методология и методы исследования.....	9
Положения, выносимые на защиту .....	11
Степень достоверности и апробации результатов.....	12
Внедрение результатов исследования.....	13
Личный вклад автора .....	13
Публикации .....	13
Объём и структура диссертации.....	14
<b><i>ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ</i></b> .....	<b>15</b>
1.1. История применения диоксида циркония в ортопедической стоматологии	16
1.2. Особенности технологических процессов (обжига) изготовления зубных протезов из керамики на основе диоксида циркония .....	22
1.3. Мостовидные зубные протезы из керамики на основе диоксида циркония.	30
1.3.1. Каркасные керамико-керамические мостовидные зубные протезы.....	30
1.3.2. Мостовидные протезы полной анатомии из монолитного полупрозрачного диоксида циркония .....	31
1.4. Отечественные материалы для зубных протезов на основе диоксида циркония.....	34
1.5. Заключение.....	36
<b><i>ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ</i></b> .....	<b>38</b>
2.1 Материалы и методы лабораторных исследований .....	38
2.1.1 Общая характеристика изученных керамических материалов на основе полупрозрачного диоксида циркония.....	38
2.1.2 Материалы и методы изучения прочности образцов полупрозрачного диоксида циркония при изгибе .....	44

2.1.3 Материалы и методы исследований маскирующей способности полупрозрачного диоксида циркония.....	49
2.2 Материалы и методы экспериментальных исследований .....	54
2.3 Материалы и методы клинических исследований .....	55
2.3.1 Общая характеристика пациентов .....	55
2.3.2 Методика ортопедического лечения моноконтными мостовидными зубными протезами на основе диоксида циркония с опорой на зубы или имплантаты .....	56
2.3.3 Методика оценки результатов ортопедического лечения .....	61
2.4 Методика статистической обработки результатов.....	64
<b>ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>65</b>
3.1 Результаты физико-механических исследований прочности диоксид циркониевых образцов зубных протезов при трехточечном изгибе .....	65
3.2 Результаты исследований маскирующей способности стоматологической керамики на основе полупрозрачного диоксида циркония.....	70
3.3 Результаты клинических исследований.....	76
<b>ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>	<b>95</b>
<b>ВЫВОДЫ.....</b>	<b>108</b>
<b>ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....</b>	<b>109</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>110</b>

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность темы исследования

На сегодняшний день хорошо известны и доказали свою клиническую привлекательность зубные протезы из диоксида циркония, в том числе, с опорой на имплантаты (Лебедеко И.Ю., Хван В.И., 2022) [21].

В ортопедической стоматологии выделяют 2 вида зубных протезов из диоксида циркония - монолитные и облицованные (керамико-керамические). Облицованные конструкции состоят из каркасов на основе диоксида циркония и керамической облицовки. Как правило, диоксидциркониевые каркасы изготавливают фрезерованием керамических заготовок по технологии CAD/CAM. Затем зубной техник наносит вручную керамическое покрытие и проводит его обжиг точно так же, как при изготовлении металлокерамических зубных протезов.

Исходя из данных литературы, многие авторы считают, что прекрасная эстетика - одно из главных преимуществ керамико-керамических реставраций, не компенсирует существенных недостатков: сколов облицовки; повышенную толщину коронок за счёт того, что протез состоит из двух слоев: каркаса и облицовки; длительные временные затраты на изготовление таких протезов (Sax C. и соавт., 2011; Guess P. и соавт., 2012; Rinke S. и соавт., 2015; Seydler B. и соавт., 2015; de Kok P и соавт., 2015; Назарян Р.Г., 2016; Дьяконенко Е.Е. с соавт. 2018, 2020; Лебедеко И.Ю., Хван В.И., 2022) [92, 49, 89, 94, 39, 16, 15, 21].

Smaniotta P. (2014) [98] в своем двухлетнем наблюдении за керамико-керамическими протезами отметил, что процент сколов керамической облицовки таких протезов достигает от 8 до 50%, а для металлокерамических протезов этот показатель ниже 10%. Разработка полупрозрачного диоксида циркония, который может быть окрашен в цвета зубов, позволила использовать монолитные протезы без нанесения керамической облицовки (Beuer F. и соавт., 2009; Лебедеко И.Ю., Хван В.И., 2022) [31, 21].

Несмотря на то, что использование монолитных зубных протезов из полупрозрачного диоксида циркония, решает проблему сколов керамической

облицовки, многие авторы относятся с опасением к таким протезам из-за возможного повышенного износа зубов-антагонистов оксидом циркония высокой прочности (Van S., 2008; Borrel A. и соавт., 2012; de Kok P и соавт., 2015) [29, 33, 39].

Vichi A. (2014), и Sulaiman T. (2015) [107, 102] пришли к выводам о нецелесообразности применения монолитного диоксида циркония в эстетических зонах.

В последние годы многие зарубежные фирмы, а также российское предприятие Циркон Керамика (Санкт-Петербург) стали производить специальные заготовки эстетичного диоксида циркония с повышенной прозрачностью, но с уменьшенной прочностью (Дьяконенко Е.Е., Лебеденко И.Ю., 2018; Дьяконенко Е.Е., Лебеденко И.Ю., Сахабиева Д.А., Ллака Э., 2020). [8, 15]

В связи с этим, актуальным для науки и практической стоматологии является изучение функциональных и эстетических характеристик монолитных зубных протезов из диоксида циркония нового поколения, в том числе при протезировании с опорой на имплантаты из отечественных заготовок в плане импортовытеснения.

### **Степень разработанности темы исследования**

На территории Российской Федерации, работы по изучению керамики на основе диоксида циркония принадлежат таким авторам как Цаликова Н.А. (2013), Хван В.И. (2010), Румянцев М.А. (2007), Яковлев Д.Н. (2010), Назарян Р.Г. (2016), Рогожников А.Г. с соавт. (2016).

Д.м.н. Цаликова Н.А. в своей диссертационной работе изучала влияние абразивной обработки, а также дополнительной температурной обработки, на изменение свойств диоксидциркониевой керамики (материала на основе метастабильного тетрагонального диоксида циркония).

К.м.н Хван В.И. изучал диоксид циркониевые абатменты и протезы на имплантатах, прочностные и цветовые характеристики оксидциркониевых

конструкций, а также структуру их поверхностей и влияние этой структуры на адгезию к ней микроорганизмов.

Яковлев Д.Н. в своей диссертационной работе изучал объем и рН десневой жидкости до и после протезирования реставрациями на основе различных видов керамики, в том числе на основе диоксида циркония.

К.м.н Румянцев М.А. в своей диссертационной работе сравнил клинические параметры мостовидных зубных протезов из керамики (изготовленных по технологии нанесения слоёв керамического покрытия) и из металлокерамики; изучил напряженно-деформированное состояние в статике и динамике цельнокерамических мостовидных зубных протезов, а также точность прилегания к препарированным зубам или культевым вкладкам.

Д.м.н Назарян Р.Г. (2016) в своей работе изучила физико-механические свойства полноконтурных диоксидциркониевых мостовидных протезов (в боковых участках – монолитных из одного материала керамического материала на основе диоксида циркония итальянского производства “Prettau”) и 2-х типов керамики-керамических протезов с композитным или керамическим типами соединения, а также экономическую эффективность керамики-керамических мостовидных зубных протезов в зависимости от типа соединения каркаса с облицовкой.

Коллективом сотрудников кафедры ортопедической стоматологии Пермского государственного медицинского университета (А.Г. Рогожников с соавт., 2016) были проведены исследования под руководством академика РАН В.Н. Анциферова совместно с Научным центром порошкового материаловедения Пермского национального исследовательского университета, посвященные разработке стоматологической диоксидциркониевой керамики. Получена серия нано- и микропористых компактных материалов, относящихся к системе  $ZrO_2—Y_2O_3—CeO_2$ . Изучены свойства керамических материалов, синтезированных в различных условиях. Исследованы в полном объеме медико-биологические свойства разработанных материалов, определяющие биосовместимость нового состава. Эта композиция разработана для изготовления каркасов высокой

прочности, которые затем будут облицованы керамикой с целью создания эстетически привлекательного вида реставрации.

Таким образом, на момент проведения настоящей диссертационной работы в периодической литературе не удалось найти публикации, посвященные использованию монолитных диоксидциркониевых конструкций в эстетических зонах, в первую очередь из заготовок российского производства.

Применение монолитного диоксида циркония является многообещающим методом профилактики технических осложнений, в числе которых можно назвать сколы керамической облицовки. Отсутствие объективных данных о физико-механических и эстетических свойствах монолитной диоксидциркониевой керамики, а также ее клинической эффективности, указывает на актуальность и целесообразность настоящего исследования.

### **Цель исследования**

Повышение эффективности ортопедического стоматологического лечения монолитными мостовидными протезами с опорой на зубы или имплантаты путем научного обоснования применения оптимальных керамических материалов на основе диоксида циркония.

### **Задачи исследования**

- I. Исследовать прочностные свойства образцов монолитных зубных протезов из нового поколения эстетичных диоксидциркониевых материалов и сопоставить с показателями образцов каркасов керамико-керамических зубных протезов.
- II. Изучить влияние режимов окончательного обжига на прочностные показатели образцов монолитных зубных протезов из полупрозрачной диоксидциркониевой керамики.
- III. Определить в сравнительном аспекте параметры цвета монолитных образцов зубных протезов из полупрозрачной керамики на основе диоксида циркония, фиксированных на абатментах из различных материалов.

- IV. Провести ортопедическое лечение пациентов с дефектами зубов и зубных рядов монокристаллическими мостовидными протезами из керамических материалов на основе полупрозрачного диоксида циркония различных производителей и дать практические рекомендации.

### **Научная новизна**

Получены новые данные о прочности при трёхточечном изгибе образцов зубопротезной керамики на основе полупрозрачного диоксида циркония в сравнении с показателями прочности каркасного материала на основе диоксида циркония.

Изучено влияние скоростей нагрева и охлаждения, температуры спекания, времени выдержки при конечной температуре и методики подготовки образцов полупрозрачной керамики на основе диоксида циркония на параметры прочности при изгибе и параметры цвета. Проведено сравнение прочностных показателей образцов из отечественных заготовок диоксида циркония и зарубежных аналогов, показано, что отечественная продукция не уступает лучшим импортным аналогам.

Получены новые данные о параметрах цвета в системе Cie Lab образцов из отечественных заготовок и зарубежных аналогов стоматологической керамики на основе прозрачного диоксида циркония (“Urcera ST” (Urcera, КНР), “IPS e.max ZirCad MT” (IvoclarVivadent, Лихтенштейн), “Ziceram T” (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия).

Клинически доказана высокая эффективность по параметрам прочности и эстетичности мостовидных зубных протезов из керамики на основе полупрозрачного диоксида циркония с опорой на зубы или имплантаты в ближайшие и отдаленные до 2х лет сроки.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Комплексом лабораторных и клинических исследований убедительно показано достижение эффекта импортозамещения наиболее востребованного

зубопротезного керамического материала на основе полупрозрачного диоксида циркония.

Установлено, что прочность образцов керамики из отечественных заготовок на основе полупрозрачного диоксида циркония достаточна для изготовления мостовидных зубных протезов в соответствии с требованиями стандарта ИСО 6872-2015.

Разработаны оптимальные режимы окончательного спекания образцов из отечественных заготовок керамического материала на основе диоксида циркония “Zisceram T” (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия) для изготовления мостовидных зубных протезов.

Изучены параметры цвета образцов протезов из различных монолитных образцов полупрозрачной керамики на основе диоксида циркония (“IPS e.max ZirCad MT” Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн,) обработанных тремя разными способами: фрезерование, фрезерование и полирование, фрезерование , полирование и глазурирование, фиксированных на имплантатах из различных материалов (титан или диоксид циркония). Выяснено, что маскирующий эффект достигается при толщине вестибулярной стенки коронок более 0,9 мм, в противном случае наличие титанового абатмента меняет цвет коронок в более темный оттенок.

### **Методология и методы исследования**

Диссертационная работа включает клинические, лабораторные и экспериментальные этапы исследований.

Клинические данные базируются на результатах двухлетнего динамического наблюдения за эффективностью ортопедического стоматологического лечения 3-х групп пациентов монолитными мостовидными конструкциями на основе диоксида циркония с опорой на имплантаты или зубы. При составлении групп были учтены максимально близкие параметры по полу, возрасту и клинической картине, в соответствии с критериями включения и не включения.

Для оценки клинической эффективности проводили клиническое визуальное и инструментальное обследование по критериям FDI, окрашивание керамических протезов и симметричных или антагонизирующих зубов раствором Люголя для оценки уровня гигиены и наличия трещин, внутриротовое фотографирование. Для контроля качества мостовидных протезов оценивали достаточность размеров “перемычек” между коронками, проводя определение периметра “перемычек” с помощью флосса.

В лаборатории материаловедения НМИЦ ЦНИИСиЧЛХ МЗ РФ изучено 4 группы образцов, всего 48 монолитных керамических зубных протезов. Реставрации изготовили для того, чтобы сравнить их физико-механические свойства. Образцы представляли собой балки, форма и размеры которых отвечали ISO 6872-2015. Они были видоизменены так, чтобы можно было учесть влияние методики изготовления и типа испытания.

Проведено лабораторное изучение параметров цвета и маскирующей способности идентичных монолитных зубных коронок, изготовленных тремя разными методами: только фрезерование, фрезерование и полирование, фрезерование, полирование и глазурование, фиксированных на двух идентичных абатментах из разных материалов: из титана или из диоксида циркония.

Изучение параметров цвета проведено спектрофотометром Easy Shade V (Вита, Германия), а также с помощью лабораторного цветоанализатора Спектрон-М (Россия) керамических образцов из предокрашенного диоксида циркония «ZiceramT» (Циркон Керамика, Россия) цвета А2, изготовленных по 16 разным режимам обжига.

Таким образом, в диссертационной работе применены 5 методов исследований: метод клинического исследования протеза с фотофиксацией результатов, метод физико-механических исследований (прочность при трехточечном изгибе), аппаратные методы изучения параметров цвета и прозрачности, методика статистического анализа.

Дизайн исследований одобрен решением Комитета по Этике Медицинского института РУДН (протокол №14/2020).

### Положения, выносимые на защиту

1. Прочностные свойства образцов монолитных зубных протезов из керамики на основе полупрозрачного диоксида циркония отечественного и зарубежного производства значительно ниже показателя образцов каркасного диоксида циркония, но достаточны (по ISO 6872-2015) для изготовления монолитных мостовидных зубных протезов.
2. Разработан оптимальный режим окончательного спекания зубных протезов из отечественных заготовок керамики на основе полупрозрачного диоксида циркония “Ziceram T” (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия) включающий обжиг при температуре 1550°C и выдержка 120 мин, прочность на изгиб при которой превышает 700 МПа.
3. Минимальная толщина вестибулярной стенки коронки из полупрозрачного диоксида циркония достаточная для маскировки цвета титанового абатмента или темно-коричневого цвета культи зуба составляет 0,9 мм
4. Изменение температуры обжига и времени выдержки при окончательном спекании полупрозрачного диоксида циркония «ZiceramT» (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия) существенно влияет на параметры цвета, повышение температуры от 1400°C до 1550°C приводит к увеличению параметра светлоты, сдвигу спектров в красную и желтую сторону.
5. Двухлетнее наблюдение за результатами несъемного протезирования дефектов зубных рядов 23 пациентов 18 мостовидными зубными протезами (с общим числом керамических зубопротезных единиц 115) из полупрозрачного диоксида циркония с опорой на титановые абатменты внутрикостных имплантатов и 15 мостовидными протезами (с общим числом зубопротезных керамических единиц 101) с опорой на зубы позволило установить высокое качество проведенного лечения.

## Степень достоверности и апробации результатов

Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается комплексностью дизайна исследований, достаточным числом экспериментальных образцов и проведенных лабораторных исследований, достаточным количеством пациентов и изготовленных монокерамических мостовидных зубных протезов, находившихся под динамическим наблюдением сроком до 2х лет, использованием современных методов и средств измерения физико-механических параметров керамики на основе диоксида циркония, статистической обработкой полученных данных.

В работе использованы разрешенные к применению отечественные и импортные стоматологические заготовки полупрозрачного диоксида циркония: «Urcera HT», Urcera, КНР, РУ №: РЗН 2017/6673; «Urcera ST», Urcera, КНР, РУ №: РЗН 2017/6673; «IPS e.max ZirCAD MT», Ivoclar Vivadent Лихтенштейн, РУ No:ФСЗ 2009/05135; «Ziceram T», Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия, РУ No: РЗН 2018/6961.

Дизайн исследования включает сравнение полученных данных с контрольными группами близких аналогов. Выводы и практические рекомендации основаны на полученных в диссертации фактических данных.

Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на:

- Международной конференции “Актуальные вопросы стоматологии” Москва, РУДН, ноябрь 2020;
- 29 Международном симпозиуме «Инновационные технологии в стоматологии», Омск, Омский Государственный Медицинский Университет, март 2021 год;
- LXXXII научно-практической конференции с международным участием “Актуальные вопросы экспериментальной и клинической медицины–2021” Санкт-Петербург, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. И.П. Павлова, апрель 2021;

- Всероссийской межвузовской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием “Актуальные вопросы стоматологии” Москва, ЦГМА, май 2021;
- 82 Международной научно-практической конференции Евразийского Научного Объединения (ЕНО), Москва, декабрь 2021;
- на совместном заседании кафедры ортопедической стоматологии медицинского института ФГАОУ ВО РУДН и лаборатории материаловедения НМИЦ «ЦНИИС и ЧЛХ» МЗ РФ, март 2022.

### **Внедрение результатов исследования**

Результаты научного исследования внедрены в учебный процесс с клиническими ординаторами и аспирантами кафедры ортопедической стоматологии МИ РУДН, в лечебный процесс стоматологической клиники «Полидент» г. Москва.

### **Личный вклад автора**

Автор провел анализ российских и зарубежных литературных источников по теме диссертационного исследования, совместно с научным руководителем разработал дизайн исследования, участвовал в проведении лабораторных и экспериментальных исследований, лично провел комплексное стоматологическое лечение мостовидными зубными протезами из полупрозрачной диоксидциркониевой керамики с опорой на внутрикостные имплантаты или на зубы. Провел анализ полученных результатов, оформил и опубликовал статьи, выступил с докладами на конференциях, подготовил диссертационную работу и автореферат.

### **Публикации**

По теме диссертационных исследований опубликовано 5 печатных работ, из них 4 работы в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международной базе данных Scopus, 4 из них из перечня ВАК и перечня РУДН.

### **Объём и структура диссертации**

Диссертация изложена на 121 страницах машинописного текста, включает Введение, 3 главы, Заключение, Выводы, Практические рекомендации и список литературы, который содержит 23 источника на русском языке и 92 источника иностранных авторов. Работа проиллюстрирована 15 таблицами и 38 фотографиями и рисунками.

## ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Современная стоматология направлена на избавление пациентов от различных дефектов во рту, к числу которых можно отнести потерю зубов в результате травм, наследственных и приобретенных заболеваний, несчастных случаев и т.д. Для восстановления жевательной функции, фонетики и эстетики в 21 веке по-прежнему востребованы мостовидные зубные протезы.

Мостовидные зубные протезы состоят из опорных коронок и промежуточных искусственных зубов. Несъемные протезы психологически легче воспринимаются пациентами, имеют малые по сравнению со съёмными протезами, размеры, соответственно, снижается и дискомфорт, и пациенты быстрее привыкают к своей реставрации. Мостовидные протезы отличаются надлежащим функционированием при правильном выборе числа опорных зубов для эффективного использования резервных сил пародонта [10]. Мостовидные зубные протезы широко используются с искусственными опорами в виде внутрикостных или поднадкостничных дентальных имплантатов. Мостовидные зубные протезы могут быть изготовлены из сплавов металлов, из полимеров, керамики и их комбинаций [2].

В исследованиях 2016 года Олесова В.Н. и соавторы отметили высокие функциональные качества безметалловых зубных протезов, не уступающие металлокерамическим протезам, а по некоторым показателям и превосходящие металлокерамику (состояние десны и опорных зубов, эстетика). Применение современных тонкостенных неметаллических конструкций способствует значительному сокращению съема твердых тканей, при этом сохраняется площадь поверхностного контакта между зубом и короной, что позволяет повысить прочность фиксации реставрации [16,17]

Безметалловые постоянные мостовидные зубные протезы изготавливают из диоксида циркония или(и) из дисиликата лития. Настоящее диссертационное исследование посвящено наиболее прочному керамическому стоматологическому зубопротезному материалу – диоксидциркониевой керамике, благодаря высокой

прочности которой возможна постановка мостовидных зубных протезов в любых отделах зубных рядов.

### **1.1. История применения диоксида циркония в ортопедической стоматологии**

Керамические реставрации являются ценной альтернативой металлокерамике благодаря тому, что они химически стабильны, обладают прекрасной эстетикой, а также хорошей биосовместимостью. В стоматологии существует широкое разнообразие керамических материалов, однако наибольшей привлекательностью обладает диоксидциркониевая керамика, отличающаяся настолько высокой механической прочностью, что показана для изготовления зубных протезов большой протяжённости [3, 18].

Диоксид циркония ( $ZrO_2$ ), был открыт в 1789 году немецким химиком, Мартином Генрихом Клапротом, и долгое время использовался в смеси с редкоземельными элементами в качестве пигмента для керамики [94].

Исследования биосовместимости диоксидциркониевой керамики начались еще в конце 60-х годов XX века. Из-за радиоактивных примесей в сырье применение диоксида циркония в стоматологии было запрещено. Ситуация изменилась с разработкой доступных процессов очистки, что позволило получать порошки высокой степени чистоты. Благодаря очистке стало возможным применение порошков диоксида циркония для целей медицины и стоматологии. Из указанных порошков производили керамику, в частности на основе частично или полностью стабилизированного диоксида циркония. Этот керамический материал обладал высокой степенью чистоты и был признан биологически инертным материалом, совместимым с тканями живого организма [16].

В 1969 году диоксид циркония впервые предложили применить, как материал для формирования искусственных головок тазобедренных суставов. В стоматологии на протяжении многих лет искали материал, который заменит металлические сплавы, обладавшие неудовлетворительной эстетикой, более того,

у некоторых возникала аллергия к металлам, особенно к неблагородным [2, 4, 5, 70].

Альтернативой металлам стали керамические материалы, предназначенные для восстановления зубов на передних участках зубного ряда. Однако прочность этих материалов была явно недостаточной для реставрации боковых областей, ведь на боковые зубы, по сравнению с передними, воздействуют высокие по величине жевательные и парафункциональные усилия.

Материалы первых поколений, предназначенные для формирования керамических коронок и микропротезов, имели невысокую механическую прочность. Прочность была недостаточной даже у усиленных фарфоров, в связи с чем процент технических осложнений, в число которых входило катастрофическое разрушение реставрации, был чрезвычайно высоким. В частности, в стеклокерамике Empress или Dicos, хотя и содержалось значительное количество кристаллической фазы, однако стекловидная фаза этих материалов, была относительно слабой и напоминала таковую у полевошпатного фарфора.

Научные разработки, направленные на совершенствование стоматологической керамики последующих поколений, привели к уменьшению кристаллов и упорядочили их расположение в стекле. Это способствовало повышению устойчивости реставрации к разрушению. Однако прочность зубных протезов все еще была недостаточной. Это объясняли неудовлетворительной прочностью стеклянной матрицы материала. Хорошо известно, что вследствие быстрого распространения трещин при низких критических напряжениях стекло может разрушаться.

Травление реставрации кислотой и адгезионная фиксация позволила повысить устойчивость материала к хрупкому разрушению [76].

Существуют два пути упрочнения стоматологических материалов. Первая стратегия—это создание непрерывного внутреннего высокопористого керамического каркаса. Такая структура внутреннего каркаса способна приостановить рост и развитие трещин. Примером использования первой стратегии является система In-Ceram (Vident, Brea, Калифорния), которая

совершенно не походила на другие стеклокерамические материалы. Разница состояла в том, что у других материалов упрочняющие частицы были полностью окружены стеклом, что приводило к снижению показателей прочности, а у In-Ceram стекло было распределено внутри керамического каркаса [76].

Система In Ceram Zirconia вышла на рынок стоматологических продуктов в 1999 году. Материал содержал диоксид циркония, что способствовало повышению прочности керамики. В состав материала входило 56 вес. % поликристаллического оксида алюминия и 24 вес. % поликристаллического диоксида циркония. Порошки смешивали с водой для получения керамического шликера. Затем из шликера формировали каркас, который обжигали при температуре 1120°C с целью получения пористой структуры. Данную структуру насыщали лантановым стеклом низкой вязкости в процессе второго обжига при температуре 1100°C с выдержкой 4 часа. Стекло заполняло поры, и каркас реставрации приобретал дополнительную прочность. В целом, прочность материала In Ceram Zirconia составляла 600 МПа, он был непрозрачным и предназначался для изготовления каркасов коронок, зубных протезов из трёх единиц. Материал облицовывали полевошпатным фарфором для улучшения эстетики [82].

Второй путь упрочнения материала – использование поликристаллической керамики, не содержащей никакой стекловидной фазы. К таким материалам относится керамика на основе оксида алюминия и диоксида циркония. Основной особенностью материалов этой группы является тонкозернистая кристаллическая структура, придающая материалу прочность и трещиностойкость [47].

Керамические заготовки на основе поликристаллического диоксида циркония стали применяться для изготовления стоматологических реставраций в конце 20-го – начале 21 века. Материал, из которого они были изготовлены, представлял собой тетрагональный поликристаллический диоксид циркония ( $ZrO_2$ ), стабилизированный оксидом иттрия ( $Y_2O_3$ ) (Y-TZP), и обладал хорошими физико-механическими свойствами [8].

Такие заготовки сразу стали выпускаться промышленностью, где обеспечивался их строгий технологический контроль, благодаря которому удалось получить более однородную микроструктуру и более высокую плотность материала за счёт снижения пористости. Тщательное соблюдение технологических параметров процесса также позволило снизить механические напряжения. Усовершенствование технологического процесса способствовало улучшению прогноза конечного результата, поскольку для изготовления зубных протезов стал использоваться более прочный и однородный материала [76].

В 1985 году два швейцарских исследователя из стоматологического университета Цюриха разработали систему CEREC. Система CEREC состояла из цифровой 3D камеры, позволяющей создавать оптические оттиски, компьютерной программы, дающей возможность преобразовывать цифровое изображение в трёхмерную виртуальную модель и создавать на экране компьютера стоматологические реставрации (вкладки, накладки, виниры, одиночные коронки), и из машины механической обработки (фрезерного станка). Данные виртуального моделирования поступали на фрезерный станок, где двумя фрезами с алмазным напылением из заготовок вырезались реставрации заданной формы. Обычно процесс занимал 8 – 18 минут в зависимости от размера и типа реставрации. Готовый протез врач полировал и фиксировал пациенту [58].

Авторами серийного аппарата CEREC 1 считают немецкого врача-стоматолога Вернера Мерманна (стоматологический университет Цюриха) и физика Марко Брандестини (компания Siemens).

Первый в России аппарат CEREC-1 появился в 1996 г. на кафедре госпитальной ортопедической стоматологии, возглавляемой в то время профессором В.Н. Копейкиным, имевшим тесный контакт с компанией Siemens. Приобретение аппарата CEREC-1 положило начало новому направлению в системе лечения, преподавания и научных разработок в области технологии CAD/CAM. Было опробовано компьютерное изготовление керамических реставраций непосредственно у кресла пациента [13].

В процесс производства CAD/CAM-систем включились и другие компании [78]. Обычно в CAD/CAM систему входят несколько модульных сегментов, соответствующих этапам создания протезов:

- сканирующее устройство, позволяющее считывать информацию о геометрии зубов и избавляющее от традиционных оттисков и моделей (внутриротовая 3D камера);
- программа виртуального моделирования стоматологического изделия на экране компьютерного монитора;
- фрезерный станок для формирования в течение 10–12 минут любых реставраций из выпускаемых промышленностью высокопрочных стандартных заготовок [19, 24].

В настоящее время существует много видов 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 [72].

Стоматологическая керамика разбита на пять классов в соответствии с её прочностью при изгибе для стоматологической керамики (согласно ИСО 6872-2018):

- (1)  $\geq 50$  МПа для микропротезов, фиксируемых адгезивом;
- (2)  $\geq 100$  МПа для микропротезов и коронок, фиксируемых адгезивом в передних областях зубного ряда;
- (3)  $\geq 300$  МПа для любых протезов зубов, фиксируемых адгезивом или традиционным цементом, и устанавливаемых в передние области зубного ряда, а

также для мостовидных протезов из трёх единиц в переднем и боковом отделах, кроме моляров;

(4)  $\geq 500$  МПа — для всех видов протезов зубов и мостовидных протезов любой локализации (для любого вида фиксации);

(5)  $\geq 800$  МПа — для всех видов протезов зубов и мостовидных протезов зубных рядов из 4-х единиц (для любой локализации и любого вида фиксации).

Стоматологическая керамика на основе диоксида циркония, относящаяся к классу 5, обладает наибольшей прочностью при изгибе [11].

Ещё одним немаловажным преимуществом стоматологической диоксидциркониевой керамики является ее высокая биосовместимость. Абатменты на основе диоксида циркония, в сравнении с титановыми абатментами, отличаются повышенной биосовместимостью вследствие чрезвычайно низкой адгезии микроорганизмов.

Третьим преимуществом частично стабилизируемой керамики на основе диоксида циркония, является уникальная способность материала «залечивать трещины», чем обусловлена его высокая трещиностойкость [3, 11, 20].

Технология CAD/CAM, применяемая в настоящее время, основана на субтрактивном подходе, который заключается в том, что при изготовлении изделия удаляют часть материала. Субтрактивная технология позволяет значительно сокращать время, затрачиваемое на изготовление работы, и легко создавать сложные реставрации, которые нельзя получить с помощью традиционных зуботехнических методов. Несмотря на это, с экономической точки зрения субтрактивная технология невыгодна: часть материала идёт в отходы.

В наши дни на смену субтрактивным технологиям (технологиям вычитания) приходят аддитивные (технологии добавления), позволяющие изготавливать любое изделие послойно на основе компьютерной 3D-модели [89, 107, 116, 117]. Существуют различные аддитивные технологии изготовления реставраций на основе диоксида циркония [37, 45, 61, 77], но хотя они предлагают экономию сырья, возможность изготовления изделий со сложной геометрией, мобильность

производства и ускорение обмена данными, говорить о реабилитации пациентов стоматологическими «напечатанными» протезами из диоксида циркония пока еще рано.

Сведения о прочности мостовидных протезов, изготовленных по аддитивной технологии, являются достаточно противоречивыми, многие авторы считают, что прочность таких реставраций пока недостаточна для применения в реальных клинических ситуациях [30, 42, 66, 83, 89, 104].

## **1.2. Особенности технологических процессов (обжига) изготовления зубных протезов из керамики на основе диоксида циркония**

Технологический процесс изготовления зубных протезов из керамики на основе диоксида циркония состоит из следующих этапов: выбор подходящей заготовки (блока), сканирование моделей, передача данных в компьютер, виртуальное моделирование реставрации, фрезерование полуспечённого блока, окрашивание, обжиг, окончательная обработка (полировка и глазурирование).

При выборе заготовки учитывают её цвет и прозрачность. Наибольшей прочностью обладают заготовки марки LT (low translucency) – низкой степени прозрачности. Коэффициент контрастности, CR, по которому судят о степени прозрачности материала, находится в пределах от 0,78 у заготовок IPS e.max ZirCAD до 0,89 у Sirona InCoris. Эти материалы показаны для применения в жевательных областях зубного ряда, где требуется повышенная прочность, или используются в качестве каркасной керамики при необходимости маскировки цвета опорной культи.

Следующими идут заготовки средней степени прозрачности (MT, medium translucency). CR у этих материалов находится в пределах от 0,50 до 0,70. Их используют для изготовления монолитных полноконтурных реставраций, чтобы избежать сколов керамической облицовки.

Группа материалов высокой степени прозрачности HT (high translucency) имеет CR ниже 0,5, и предназначена для изготовления эстетических реставраций [108].

Shoji K. (2019) отметил, что в эстетических реставрациях приоритет отдаётся цвету. В системе Katana для таких работ выбирают серию НТ, и на цирконовом каркасе воспроизводят индивидуальные особенности зубов пациента облицовочным материалом, совместимым с диоксидом циркония.

В тех случаях, когда в приоритете механическая прочность и гигиена, например, в жевательных областях зубного ряда, выбирают серию МL (умеренной прозрачности). В этих случаях рекомендуется изготавливать монолитные реставрации и проводить точную полировку поверхностей контакта.

И, наконец, серии UTML (ультра прозрачные многослойные) и STML (супер прозрачные многослойные) используют с нанесением красителей и покрытием глазурью. Серии UTML и STML отвечают широкому диапазону показаний, включая реставрации передних и боковых областей зубного ряда [98].

Существует ряд программ виртуального моделирования стоматологических реставраций. Например, программное обеспечение Zfx CAD позволяет проводить виртуальное моделирование для широкого диапазона показаний, создавать не только коронки и мостовидные протезы, но и индивидуализированные абатменты, а также реставрации на имплантатах, которые затем будут изготовлены по компьютерной программе во фрезерном центре [26,56].

Система in Lab снабжена программой моделирования Biogeneris, которая во время процесса сканирования оценивает анатомические особенности естественных зубов пациента, и воспроизводит эту анатомию в зубном протезе, благодаря чему реставрация незаметно сливается во рту с окружающим зубным рядом. Программу Biogeneris можно использовать для виртуального моделирования вкладок, накладок, и реставраций передних зубов. Применима программа и для изготовления каркасов коронок или мостовидных протезов. Также в программу Biogeneris включен режим «срезания». После моделирования полной анатомической формы реставрации техник может вручную ввести информацию о пространстве, необходимом для нанесения дополнительных слоев керамического покрытия, а после этого провести манипуляции мышью, и реставрация будет «срезана» до той структуры, которая сможет обеспечить

необходимую опору для керамического покрытия. Если у техника появятся какие-то новые соображения, то созданную на экране монитора модель можно будет легко и быстро изменить до начала механической обработки блоков [81].

Программа моделирования Cerconart 3.1 позволяет создавать индивидуализированные супраструктуры имплантатов на одноэлементных индивидуальных абатментах, а также предлагает высокоэстетичную альтернативу на двухэлементных абатментах, показанных для реабилитации жевательных областей [87]. Преобразованная информация отсылается фрезерному модулю, станку с ЧПУ [24, 76].

Существует два способа получения диоксидциркониевых каркасов и зубных протезов по технологии CAD/CAM. В первом случае каркасы изготавливаются фрезерованием плотноспечённых блоков. Такие каркасы будут иметь реальную величину, поскольку не нужно учитывать объёмную усадку, благодаря чему значительно повышается точность припасовки. Тем не менее, при таком подходе происходит быстрый износ шлифовальных инструментов. Более того, удлиняется время фрезерования заготовки.

Во втором случае каркасы формируют из полуспечённых блоков, обладающих значительно меньшей твердостью, в связи с чем их называют «мягкими блоками». Такие блоки в дальнейшем подлежат обжигу при высокой температуре.

В процессе обжига происходит объёмная усадка керамики, составляющая 20-25%. Компьютерная программа автоматически рассчитывает объём полуспечённого каркаса, который подлежит фрезерованию после предварительного обжига. Это позволит обеспечить оптимальную припасовку реставрации после окончательного обжига [12, 16, 24, 102]. При необходимости полуспечённые каркасы могут быть окрашены перед окончательным обжигом.

Существует три метода окрашивания полуспечённых цирконовых реставраций, полученных механической обработкой неокрашенных блоков: техника погружения, техника окрашивания кистью и гибридная техника. При окрашивании погружением полуспечённую реставрацию, изготовленную

механической обработкой блоков, погружают в красящий раствор на 30 – 120 секунд (в зависимости от рекомендаций производителя). Этот метод является самым быстрым и позволяет получать одноцветные (монохромные) реставрации [61]. После погружения реставрацию необходимо высушить. Для этой цели используют инфракрасную лампу или сушилку. Время сушки зависит от размера объекта и температуры. Низкая температура сушки и крупные размеры реставрации замедляют процесс сушки. Однако подъём температуры выше 140°C может привести к появлению дефектов [8, 16]. Метод окрашивания кистью позволяет получать более эстетичные реставрации, однако при этом повышается трудоёмкость. Окрашивание кистью отнимает у зубного техника больше времени, но готовая реставрация выглядит более естественной [9].

При гибридной технике реставрацию, предварительно окрашенную погружением в красящий раствор, расписывают кистью [8, 9].

Важнейшим этапом изготовления зубных протезов из керамики на основе диоксида циркония является обжиг. Оптические и физико-механические свойства материала зависят от режима обжига. Неправильно выбранный режим обжига приведёт к ухудшению прочностных и оптических характеристик материала за счёт появления обжиговых дефектов, в том числе, трещин, пустот, пузырей, шероховатостей и т.д. [6, 103].

Особенностью обжига диоксида циркония является то, что этот материал спекают при более высоких температурах, чем другие стоматологические керамические материалы. Традиционная технология изготовления зубных протезов на основе диоксида циркония включает высокотемпературный окончательный обжиг продолжительностью от 10 до 14 часов. Обжиг диоксида циркония в традиционных печах проводят до конечной температуры 1400 – 1600°C с выдержкой от одного до четырёх часов [6].

В традиционных печах используются нагревательные элементы из различных материалов; обычно это карбид кремния или дисилицид молибдена. Традиционные печи отличаются медленным нагревом, как правило, скорость нагрева в них составляет 40 – 70°C/мин. Иногда используется настройка скорости

нагрева от 5 до 10°С/мин [64]. Нагревательные элементы из дисилицида молибдена стоят дороже, чем из карбида кремния, однако срок эксплуатации последних является более коротким (составляет примерно 2/3 от срока службы дисилицид молибденовых нагревателей). При использовании нагревателей из карбида кремния печь прогревается быстрее. Чтобы разогреть дисилицид молибденовые нагреватели используют трансформатор (тяжеловесный и недешёвый). В других конструкциях используется более лёгкий источник постоянного тока, но такой же высокий по цене, как трансформатор, и с сомнительной надёжностью. Тепло в печах с дисилицид молибденовыми нагревателями распределяется более равномерно, чем в тех, где используются нагреватели из карбида кремния [55].

По данным Almazdi A. и соавт. (2012), в процессе традиционного обжига зубные протезы нагреваются неравномерно, при этом высок расход энергии [25]. Традиционные печи не подходят для изготовления протезов непосредственно у кресла с пациентом, что связано с высокой продолжительностью процесса обжига (в некоторых случаях обжиг занимает 12 часов) [38,54]. Для ускорения процесса спекания, улучшения физико-механических и эстетических свойств протезов и экономии энергии были разработаны альтернативные скоростные методы обжига, включая индукционное [41,73], микроволновое [41, 73, 103] и искровое плазменное спекание [100, 103, 108].

Одним из главных изучаемых свойств материала является его прочность. От этого показателя зависит возможность использования диоксида циркония для изготовления протяжённых зубных протезов и реставраций боковых областей зубного ряда [101]. Almazdi A. и соавт. (2012) сравнивали прочностные свойства протезов, обожженных в традиционной и микроволновой зуботехнических печах. Эти авторы не выявили статистически достоверных различий по прочности, однако отдали предпочтение микроволновым печам, как позволяющим уменьшить время обжига, и, следовательно, потребление электроэнергии, что является актуальным на сегодняшний день. [25].

Hjerpe J. и соавт. (2013) изучали зависимость механической прочности частично стабилизированного диоксида циркония от продолжительности цикла обжига. Было изготовлено 56 дисков из частично спечённого диоксида циркония ICE Zirkon (Zirkon Zahn, Italy). Образцы разделили на 2 группы. Обжиг образцов в первой группе проводили в традиционной печи Zirkon Zahn с нагревом в течение 3-х часов до температуры 1500°C и двухчасовой выдержкой при конечной температуре. Во второй группе время нагрева до температуры 1500°C составило 1 час 40 мин, выдержка при конечной температуре 1 час. Прочность образцов в оцениваемых группах находилась приблизительно на одном уровне (от 995 до 1127 МПа). Авторы полагают, что уменьшение времени обжига не влияет на механическую прочность частично стабилизированного диоксида циркония [53].

Marinis A. и соавт. (2013) провели исследование трещиностойкости частично стабилизированной цирконовой керамики, обожжённой в традиционной или микроволновой печи.

Результаты исследования Marinis A. и соавт. (2013) показали, что тип печи не влиял на трещиностойкость стабилизированной диоксидциркониевой керамики [73].

K. Ebeid и соавт. (2014) оценивали влияние параметров обжига на би осевую прочность диоксида циркония при изгибе. Независимо от параметров обжига, т.е. изменение оцениваемых параметров обжига в изученных пределах не влияло на прочность при изгибе [41].

Ersoy N.M. и соавт. (2015) исследовали влияние различных температур спекания и времени выдержки при конечной температуре на прочность при изгибе и размер зёрен диоксида циркония. Полуспечённые образцы из диоксида циркония (In-Coris ZI, In-Coris TZI, 120 шт.) были разбиты на три группы и подвергнуты обжигу согласно одному из трёх режимов: 1510°C, выдержка при конечной температуре 120 мин; 1540°C - 25 мин; 1580°C - 10 мин. При всех режимах обжига образцы были признаны полностью спечёнными. Максимальной прочностью обладали образцы In-Coris ZI и In-Coris TZI после обжига по режиму 3 (1580°C - 10 мин) [44].

Была изучена механическая прочность нескольких керамических материалов на основе диоксида циркония, в том числе, Katana STML Block, Prettau Anterior и Zrex Smile (Lawson N. и Maharishi A., 2019). Испытания проводили после обжига образцов в традиционной и скоростной печи в соответствии с ISO 6872-2015 методом трёхточечного изгиба на универсальной испытательной машине при скорости нагружения образцов 1 мм/мин. Исследование показало, что механическая прочность образцов не зависела от продолжительности обжига [64]

Интересна работа Jansen J. и соавт. (2019), которые оценивали прочностные свойства образцов диоксидциркониевой керамики Ceramill ZI, Ceramill Zolid и Ceramill Zolid HT+. Прочность при би осевом изгибе была определена после обжига образцов в высокоскоростных печах. Этот показатель сравнивали с результатами традиционного обжига. Было установлено, что спекание в высокоскоростных печах не влияет на механические свойства материала. Большее влияние на прочность оказывает добавка  $Al_2O_3$  в составе материала [54].

McKinley S. и соавт. (2019) и многие другие исследователи установили, что время на выполнение работы можно сократить, если проводить обжиг в скоростной печи, поскольку это вряд ли приведёт к уменьшению прочности реставрации [25, 35, 41, 53, 54, 69, 75].

По данным Lee Na-Bin и соавт. (2020) более продолжительное спекание способствует увеличению механической прочности диоксидциркониевой керамики [65].

Напротив, Cardoso K. и соавт. (2020), Luz J. и соавт. (2021) считают, что температура обжига не оказывает влияния на прочность диоксида циркония [35,69].

Catramby M. и соавт. (2021) испытывали на прочность образцы на основе диоксида циркония Ceramill Zolid, Prettau, и ZirCAD методом четырёхточечного изгиба, обожженные по режимам производителей или при температурах (выдержках) более высоких, чем рекомендовал производитель. Прочность образцов, обожженных по режимам производителей, составила: ZirCAD (1530°C) –  $1057,41 \pm 150,54$  МПа; Prettau (1600°C) –  $864,18 \pm 118,21$  МПа; Ceramill Zolid

(1450°C) –  $621,01 \pm 138,08$  МПа; Ceramill Zolid (1530°C) –  $713,10 \pm 175,44$  МПа; Ceramill Zolid (1600°C) –  $630,15 \pm 112,08$  МПа. Повышение температуры спекания Ceramill Zolid до 1530°C до определённых пределов привело к увеличению прочности материала, однако дальнейшее повышение температуры оказало отрицательное влияние на прочность, которая стала снижаться [36].

Авторы ряда работ [36, 38, 44, 64] отмечают, что на механическую прочность диоксида циркония в большей степени влияет марка и производитель керамики, определяющие химический состав и структуру материала, чем выбор обжиговой печи.

В итоге это означает, что доля конкретного состава материала конкретного производителя необходимо разрабатывать оптимальный режим обжига.

Важную роль играет не только механическая прочность, но и оптические свойства материала, в том числе, параметры цвета, степень прозрачности и антипод-маскирующая способность материала. Анализ работ по сравнению влияния обжига на оптические характеристики диоксидциркониевой керамики показал, что на параметры цвета и прозрачность (маскирующую способность) в большей степени влияет не режим спекания, а свойства материала [38, 54, 62, 64].

Кроме прочностных и оптических свойств керамики на основе диоксида циркония исследователи оценивали влияние параметров обжига на плотность и микроструктуру материала [33, 38, 40, 69, 105], точность реставрации [27], стирание [84, 110] и краевое прилегание [57, 61, 84]. Исследования проводились на разных материалах, отличавшихся по структуре или составу, выпускаемых по различным технологическим регламентам, на разном оборудовании, разными техниками, поэтому между полученными данными существовали достоверные расхождения.

Более согласованные результаты наблюдались при оценке точности реставраций и прилегания коронок (краевого и общего) после их спекания в скоростных и традиционных печах. Было установлено, что продолжительность обжига не влияет на прилегание коронок [27, 57, 61, 84, 110].

Завершающим этапом изготовления реставраций из диоксида циркония является их окончательная обработка (шлифование, полирование, глазурирование). Было установлено, что глазурь, более мягкая, чем диоксид циркония, со временем стирается, становится шероховатой, что приводит к стиранию антагонистов, поэтому более предпочтительной является полирование [51].

Разные производители предлагают наборы для окончательной обработки поверхности диоксида циркония в два – три этапа, в которые входят как инструменты для шлифования, так и для полирования до высокого блеска. Рекомендованные скорости вращения полировальных инструментов – от 8000 до 20 000 об/мин, а диапазон предлагаемых паст очень широк [87].

### **1.3. Мостовидные зубные протезы из керамики на основе диоксида циркония**

#### **1.3.1. Каркасные керамико-керамические мостовидные зубные протезы**

Первые стоматологические керамические материалы на основе диоксида циркония были непрозрачными. Для улучшения эстетики на каркасы реставраций из диоксида циркония наносили керамическое покрытие. Чтобы создать место для облицовки, требовалась сошлифовка каркаса и значительное сошлифовывание (препарирование) твёрдых тканей зуба [86, 115].

У облицованных реставраций на основе диоксида циркония чаще всего имеют место такие осложнения, как сколы керамического покрытия и отслоение керамики [39, 50, 85, 86, 95]. Процентное число технических осложнений в результате скола керамической облицовки составляет 8 - 50% для протезов с каркасами из диоксида циркония, и 4 - 10% для металлокерамики [99].

Отчего скалывается облицовка до сих пор не выяснено, однако, в числе возможных причин сколов называют жесткую поверхность каркаса, плохую связь каркасного материала с керамическим покрытием, и неудачную конструкцию реставрации [99].

Также была изучена зависимость сколов керамики от толщины облицовки каркаса из диоксида циркония. Было показано, что механические напряжения внутри облицовки распределяются в пределах её толщины, а с увеличением

толщины покрытия в нём развиваются более высокие внутренние напряжения, чем при нанесении тонкого слоя. Таким образом, минимальная толщина покрытия позволит предупредить появление сколов [71, 56].

Jikihara A.N. и соавт. (2014) рекомендовали охлаждать оксид циркониевые реставрации после обжигов керамической облицовки как можно медленнее [56]. В попытках свести проблему сколов к минимуму, было предложено отдельно изготавливать облицовку и каркас фрезерованием, а затем соединять их полимерным цементом (технология Vita Rapid Layer). Также была разработана техника напекания фрезерованного керамического покрытия (Ivoclar IPS e.max CAD-on ) [17, 48].

Для уменьшения сколов облицовочной керамики на основе полевого шпата, Wattanasirmit K и соавт. (2015) рекомендовали перед нанесением керамической массы покрыть диоксидциркониевый каркас подслоем на основе дисиликата лития. Нанесение тонкого керамического подслоя на каркас даст возможность в значительной степени повысить прочность его связи с керамическим покрытием [109].

В нескольких работах было рассмотрено влияние метода нанесения керамической массы на окраску зубного протеза. Преимущества выбора того или иного метода не доказаны [24, 68, 113].

На смену диоксидциркониевым каркасам с облицовкой пришёл монолитный диоксид циркония.

### **1.3.2. Мостовидные протезы полной анатомии из монолитного полупрозрачного диоксида циркония**

Изобретение светопрозрачного диоксида циркония цвета зубов позволило создавать цельные монолитные конструкции без керамической облицовки [7, 15, 17, 30, 67]. Сначала на рынке стоматологических продуктов появились диоксидциркониевые блоки матово-белого цвета. Для улучшения эстетики было необходимо повысить прозрачность керамического материала [67].

Ghodsi S. и Jafarian Z. (2018) сообщили о 5 возможных способах повышения прозрачности стоматологического диоксида циркония.

*Первым способом* является увеличение размеров зёрен материала. Чем крупнее зерна материала, тем меньшее количество проходящего света будет рассеиваться по их границам. Однако, если размер зерна больше 1 мкм, может произойти самопроизвольный фазовый переход тетрагонального диоксида циркония в моноклинную форму. Это будет сопровождаться снижением 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 была почти такой же, как у полевошпатного фарфора. При увеличении размера частиц от 0,9 до 1,4 мкм прочность при изгибе будет линейно увеличиваться от 650 до 1000 МПа. После критического размера зерна 1,4 мкм прочность на разрыв снова начнёт уменьшаться.

*Третий способ* – это повышение количества стабилизирующей добавки оксида иттрия, что приводит к увеличению кубической модификации диоксида циркония в структуре материала. По мере увеличения добавки оксида иттрия увеличивается процентное содержание кубической фазы, что приводит к повышению прозрачности.

*Четвёртым способом* повышения прозрачности диоксида циркония является регулирование количества примесей.

И, наконец, *пятый способ* повышения прозрачности материала состоит в повышении температуры спекания. Некоторые производители выбирают конечную температуру спекания диоксида циркония выше 1550°C. Однако, такое повышение температуры может привести к снижению прочности материала при изгибе и стабильности диоксида циркония [46].

Чтобы окрасить светопроницаемый диоксид циркония, в его состав вводят окрашивающие вещества, по большей части представляющие собой

металлические оксиды [34, 96]. Существует две технологии введения окрашивающих веществ в материал [3, 52, 59, 96]. Согласно исследованиям физико-механических свойств диоксида циркония для получения монолитных конструкций полной анатомии, увеличение прозрачности приводит к снижению прочностных свойств и трещиностойкости материала, при этом введение окрашивающих добавок с состав материала не влияет на его механическую прочность. Чем меньше толщина стенок материала, тем выше его прозрачность, однако это приводит к ухудшению механической прочности [29, 63, 79, 114, 74,].

На основании оптических и физико-механических свойств диоксидциркониевой керамики были установлены показания к ортопедической реабилитации пациентов цирконовыми реставрациями.

По данным F. Zarone и соавт. (2010), монолитный диоксид циркония подходит для изготовления коронок и несъёмных протезов, устанавливаемых в боковые области зубного ряда, вкладок, накладок, абатментов имплантатов, протяжённых мостовидных протезов, включая несъёмные протезы полной дуги [111].

В работе Rinke S и Fischer C.(2013), отмечено, что монолитный диоксид циркония показан для изготовления коронок полной анатомии и непротяжённых мостовидных конструкций, предназначенных для реабилитации жевательных областей зубного ряда. Лабораторные исследования подтвердили возможность применения протяжённых коронок, однако следует провести дополнительные испытания образцов на механическую прочность и клинические исследования для того, чтобы убедиться в надёжности отдалённых результатов лечения. Только после этого указанный материал может быть рекомендован к широкому клиническому применению. [91].

Согласно данным D. Augusti и соавт. (2014) величина функциональных усилий откусывания и пережёвывания пищи на участках моляров находится в пределах от 441 до 981 Н [28].

Предельные усилия окклюзии, которые должны выдерживать зубные протезы из монолитной диоксидциркониевой керамики, в соответствии со

стандартом DIN, составляют 1000 и более ньютонов. В число показаний к применению нового материала, высокопрочного монокристаллического диоксида циркония, можно также включить мостовидные конструкции Мэриленд (несъёмные зубные протезы на вкладках, фиксируемых на зубах) [28].

По данным S. Gracis и соавт. (2015) частично облицованные зубные протезы, частичные несъёмные протезы, полные коронки фронтальных и боковых областей, и абатменты имплантатов, можно изготавливать не только из металлов, но и из монокристаллического диоксида циркония [47].

Не допускается использование материала в случаях, выходящих за рамки показаний или противопоказаний производителей, поскольку это может привести к осложнениям, связанным с разрушением зубного протеза. M. Moscovitch и H. Keren (2010) определили основные причины технических осложнений, связанных с зубными протезами на основе диоксида циркония: разрушение происходит при малой толщине стенок реставрации (толщина стенки должна быть  $\geq 0,5$  мм); недостаточной площади зоны контакта единиц зубного протеза (площадь зоны соединения коронки и промежуточного искусственного зуба мостовидного протеза должна быть  $\geq 9$  мм<sup>2</sup> – для конструкций из 3-х единиц,  $\geq 12$  мм<sup>2</sup> – для конструкций из 4 единиц). Также разрушение зубного протеза на основе диоксида циркония может быть вызвано сухим шлифованием каркасов после окончательного обжига, применением грубозернистых алмазных инструментов, высокими скоростями вращения бора в цанге наконечника и/или чрезмерным надавливанием на реставрацию [80].

#### **1.4. Отечественные материалы для зубных протезов на основе диоксида циркония**

Исследования по созданию новых стоматологических керамических материалов в Российской Федерации проводятся в нескольких организациях, в том числе в Научном центре порошкового материаловедения Пермского национального исследовательского университета (совместно с сотрудниками Пермского государственного медицинского университета, кафедра

ортопедической стоматологии под руководством А.Г. Рогожникова с соавт.). Исследовательской группой под руководством академика РАН В.Н. Анциферова проводятся работы по созданию отечественной диоксидциркониевой керамики. Получены образцы плотных нано- и микропористых материалов на основе диоксида циркония со стабилизирующими добавками  $Y_2O_3$  и  $SeO_2$ . Исследованы физико-механические и оптические свойства разработанной керамики в зависимости от параметров ее изготовления. Также детально изучены медико-биологические свойства материала, в частности биосовместимость новой композиции. Результаты представляются перспективными, разрабатывается технологический регламент промышленного изготовления нового стоматологического материала.

На Новосибирском предприятии «НЭВЗ-керамикс» уже приступили к освоению производства заготовок из импортного порошка диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия. Указанные заготовки предназначены для изготовления керамических зубных протезов. Апробация заготовок проводится в лаборатории Московского предприятия «РиКом». В лаборатории ЦНИИС и ЧЛХ также проводились испытания образцов из нового материала на основе диоксида циркония, показавшие, что стратегия выбрана правильно, однако существует ряд технологических проблем, которые пока ещё не решены [11].

Впервые производство отечественных дисков из зарубежного сырья (порошка диоксида циркония) освоили на заводе «ООО Циркон Керамика» в Санкт-Петербурге. Сырьём для Санкт-Петербургских заготовок Ziceram T (Циркон Керамика) является нанодисперсный порошок стабилизированного диоксида циркония, поставляемого фирмой TOSOH (Япония). Порошок подают на подготовительный участок, где его развешивают на аналитических весах и загружают в особую тару, предназначенную для засыпки в дозирующее устройство осевого пресса. Также на подготовительном участке производится смешивание сырья для производства заготовок (16 цветов). Порошок подвергают осевому прессованию на особом прессе. После замеров и тщательного осмотра заготовок с целью выявления трещин и механических дефектов, изделия

вакуумируют специальной плёнкой, укладывают в поддоны и перемещают в цех изостатического прессования. Отпрессованные полуфабрикаты поступают на участок предварительного обжига. Обожжённые заготовки подвергаются механической обработке на станках с ЧПУ. После окончательного контроля заготовки маркируют на принтере. Маркировку наносят растворимыми чернилами, и она включает в себя следующую информацию: логотип производителя, размерные параметры, вид заготовки, партия сырья, а также коэффициент объёмной усадки [14, 118].

В настоящее время завод выпускает заготовки: белого цвета (TZ); прозрачные (Т); высокой степени прозрачности (НТ); Оттенки по шкале VITA: (A1, A2, A3, A3,5, A4, B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3, C4, D2, D3, D4); многослойные заготовки (ML) [119]. Эти материалы разрешены для практического применения в стоматологической практике РФ (РУ №РЗН 2018/6961). Перспективным представляется клиническое применение заготовок из прозрачного диоксида циркония отечественного производства для ортопедического лечения монолитными мостовидными протезами

### **1.5. Заключение**

Мостовидные зубные протезы не потеряли своей актуальности в ортопедической стоматологии 21 века. Они успешно восстанавливают жевательную эффективность и устраняют эстетические проблемы при протезировании частичных дефектов зубных рядов 3-4 классов по Кеннеди, а с использованием искусственных опор – внутрикостных имплантатов – дефекты 1 и 2 классов по Кеннеди. Существует два типа мостовидных зубных протезов на основе диоксида циркония – монолитные и облицованные.

Анализ работ показал, что достоинством монолитных протезов является снижение риска поломок и возникновения трещин из-за высоких прочностных характеристик.

В РФ налажен выпуск полупрозрачного диоксида циркония для зубных протезов. Однако, отсутствует научно обоснованная методика его обжига, а

анализ доступной литературы показывает, что режимы обжига сильно влияют на прочностные и эстетические характеристики.

Поэтому задачами лабораторной части нашей диссертационной работы является изучение влияния режимов окончательного обжига на прочностные показатели образцов монокристаллических зубных протезов из полупрозрачной диоксидциркониевой керамики «Zirceram T» Санкт Петербургского завода и его оптические свойства, к числу которых относятся цветовые характеристики и прозрачность. Необходимо определить в сравнительном аспекте параметры цвета и прозрачности керамики для изготовления монокристаллических зубных протезов, фиксированных на имплантатах из различных материалов, чтобы разработать направления улучшения их эстетики.

И в завершении, после выбора оптимальных параметров обжига, а также материалов с оптимальными характеристиками цвета и прозрачности, необходимо провести ортопедическое лечение пациентов монокристаллическими мостовидными протезами из керамических материалов на основе диоксида циркония от различных производителей, и проанализировать достигнутые результаты с целью разработки практических рекомендаций для широкого внедрения российского материала в программу импортозамещения.

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### 2.1 Материалы и методы лабораторных исследований

#### 2.1.1 Общая характеристика изученных керамических материалов на основе полупрозрачного диоксида циркония

Нами были исследованы образцы из диоксида циркония от трёх производителей – “Urcera ST” (Urcera, КНР), “*IPS e.max ZirCAD MT*” (Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн), “Ziceram T” (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия). Эти материалы используются в российских зуботехнических лабораториях для изготовления диоксид циркониевых реставраций.

Мы выбрали цвет А2 для всех наших образцов так как это наиболее распространенный цвет зубов. В нашей диссертационной работе мы использовали блоки в форме дисков 98,5\14 как более распространенные размеры дисков.

Диоксид циркониевые заготовки *IPS e.max ZirCAD*– это полуспечённый диоксид циркония, стабилизированный оксидом иттрия (4-6%). Этот материал разрешен на территории Российской Федерации для изготовления мостовидных зубных протезов и имеет РУ №: ФСЗ 2009/05135.

Материал после окончательного обжига обладает поликристаллической структурой, представляющей собой тетрагональный диоксид циркония (TZP). Прочность при изгибе такой керамики составляет > 850 МПа (по данным производителя [120]). Материал отличается высоким сопротивлением разрушению: его трещиностойкость превышает аналогичный показатель стеклонасыщенной керамики более чем в два раза. Для фрезерования используются каркасы увеличенного объёма; линейное превышение размера по каждой оси составляет приблизительно 20%. Благодаря технологическому контролю процесса производства блоков и оптимизации режима обжига в печи Sintramat (Ivoclar Vivadent), происходит компенсация усадки за счёт увеличения объёма фрезерованного каркаса, в результате чего обеспечивается точное прилегание краев реставрации. В процессе обжига диоксид циркония приобретает необходимые физико-механические и оптические свойства, характерные для его тетрагональной формы. При обжиге имеет место уплотнение материала более

чем на 99%, за счёт чего повышается сопротивление разрушению и трещиностойкость керамики в результате трансформационного упрочнения. Более прочные реставрации способны выдерживать более высокие по величине жевательные нагрузки, действующие не только в передних, но и в боковых областях зубного ряда, поэтому материал следует признать отвечающим клиническим требованиям.

*IPS e.max ZirCAD MT (4Y-TZP 45%)* (Рисунок 1), Прочность на изгиб- 850 МПа. Имеет среднюю прозрачность. Выпускается в форме дисков: Ø 98,5 мм в толщину 14, 18 мм. Материал показан для изготовления мостовидных протезов с промежуточной частью не более 2-х единиц в боковом отделе, мостовидных конструкций протяженностью от 3 до 6 единиц, первичных телескопов, протезов, опирающихся на имплантаты.



Рисунок 1 - Заготовки “*IPS e.max ZirCAD MT*” (Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн)

UPCERA — высокотехнологичная компания, специализирующаяся на разработке и производстве нанокерамических материалов. Компания владеет современным производственным центром и является одним из крупнейших производителей диоксид циркониевой керамики в Китае. Этот материал разрешен на территории Российской Федерации для изготовления мостовидных зубных протезов и имеет РУ №: РЗН 2017/6673.

Заготовки получают методом холодного изостатического прессования с последующей механической обработкой сырца. После спекания материал

обладает высокой прочностью, прекрасной биосовместимостью и хорошей эстетикой. Диоксид циркониевые заготовки “Upcera” показаны для формирования передних и боковых одиночных коронок и непротяжённых мостовидных протезов.

Upcera HT (Upcera, КНР) белый – это циркониевые заготовки для изготовления каркасных конструкций с дальнейшим нанесением керамики. (Рисунок 2). Прочность на изгиб 1400 МПа по данным производителя [121]. Материал Upcera HT белый показан для изготовления каркасов одиночных коронок и мостовидных протезов с промежуточной частью до 5-6 единиц, первичных телескопических коронок, консольных мостовидных протезов, мостовидных протезов с вкладками inlay, мостовидных конструкций типа Мэриленд, индивидуальных абатментов.



Рисунок 2 - Заготовки из каркасного диоксида циркония Upcera HT

Диоксид циркониевые заготовки “Upcera ST” (Upcera, КНР), (рисунок 3) представляют собой полуспечённый частично стабилизированный (3%  $Y_2O_3$ ) диоксид циркония ( $ZrO_2$ ). Прочность на изгиб 1100 МПа [121]. Материал Upcera ST показан для изготовления одиночных и мостовидных конструкций полной анатомической формы зуба, с промежуточной частью до 3-4 единиц, первичных

телескопических коронок, консольных мостовидных протезов, мостовидных протезов с вкладками inlay, мостовидных конструкций типа Мэриленд, индивидуальных абатментов.



Рисунок 3 - Заготовки Upercera ST A2

В 2018 году российская компания Циркон Керамика Санкт-Петербург, Россия, выпустила заготовки диоксида циркония Zisceram. Сырьём для заготовок Zisceram (Санкт-Петербург) служит нанодисперсный порошок диоксида циркония (TOSOH, Япония). Для стабилизации этого порошка используется оксид иттрия. Диоксид циркония фирмы TOSOH разрешен к применению на территории Российской Федерации для изготовления мостовидных зубных протезов и имеет РУ №: РЗН 2018/6961.

Прочность при изгибе составляет от 750 до 1400МПа [122]. Порошок подают на подготовительный участок, где его взвешивают на аналитических весах. Взвешенный порошок поступает в особую тару, предназначенную для засыпки в дозаторы осевого пресса. На подготовительном участке также смешиваются различные по составу порошки, что позволяет отпрессовать заготовки 16 разных цветов. Порошок подают на осевой пресс для формирования заготовок. После замеров заготовок и их визуального контроля, в процессе которого изделия с трещинами, сколами и деформациями отбраковывают, оставшиеся изделия вакуумируют, упаковывают в плёнку и укладывают на поддоны, которые устанавливают в особые тележки и отвозят в цех изостатического прессования. После процедуры изостатического прессования заготовки подвергают предварительному обжигу. Полуспекённые заготовки

подвергают механической обработке на станках с ЧПУ. После окончательного контроля заготовки маркируют на принтере. На заготовку растворимыми чернилами наносят следующую важную информацию: тип и размер заготовки, номер партии исходного материала, коэффициент объёмной усадки. Заготовки Ziceram (Санкт-Петербург, Россия) предназначены для изготовления мостовидных протезов, одиночных коронок и высокопрочных реставраций, таких, как вкладки.

### **Типы материалов Ziceram**

СТ (Combinate Translucent) – материал с переходной прозрачностью 45-49%. Прочность при изгибе 750-1100 МПа. Многослойные заготовки предназначены для изготовления виниров, вкладок, накладок, монолитных коронок для передних зубных протезов, коронок на абатменты, мостовидных протезов до 3 единиц. Степень прозрачности заготовок сопоставима с прозрачностью дисиликата лития. Многослойные заготовки состоят из нескольких окрашенных в соответствии со шкалой VITA® слоев и имеющих плавный переход между этими слоями от темного оттенка к светлому.

НТ (High Translucent) - прозрачность 49%. Суперпрозрачные заготовки предназначены для изготовления виниров, вкладок, накладок, монолитных коронок для передних зубных протезов, коронок на абатменты, мостовидных протезов до 3 единиц. Прочность на изгиб более 750 МПа. Степень прозрачности материала сопоставима с прозрачностью дисиликата лития. Диски представлены в белом цвете и предварительно окрашены в 16 цветов в соответствии со шкалой VITA®.

ЕТ (Extra Translucent) - прозрачность 45% -Экстрапрозрачные многослойные заготовки предназначены для изготовления виниров, вкладок, накладок, монолитных коронок для передних зубных протезов, моляров и премоляров, коронок на абатменты, редуцированных коронок, гибридных абатментов, мостовидных протезов до 16 единиц. Прочность на изгиб более 1100

МПа. Многослойные заготовки состоят из нескольких окрашенных в соответствии со шкалой VITA® слоев и имеющих плавный переход между этими слоями от темного оттенка к светлому.

T (Translucent) - прозрачность 41% (Рисунок 4). Прозрачные заготовки предназначены для изготовления редуцированных коронок, монолитных коронок для моляров и премоляров, гибридных абатментов, коронок на абатменты, мостовидных протезов до 16 единиц. Прочность на изгиб более 1100 МПа. Диски представлены в белом цвете и предварительно окрашенные в 16 цветов в соответствии со шкалой VITA®.



Рисунок 4 - Заготовки “Ziceram T” (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия), цвет А2

TZ (Ораque) - прозрачность 41%- Опаковые заготовки предназначены для изготовления редуцированных коронок, монолитных коронок для моляров и премоляров, гибридных абатментов, коронок на абатменты, мостовидных протезов до 16 единиц, а также балочных конструкций. Прочность при изгибе – более 1400 МПа. Диски представлены в белом цвете.

## 2.1.2 Материалы и методы изучения прочности образцов полупрозрачного диоксида циркония при изгибе

Метод основан на определении усилия разрушения при действии на образцы изгибающей нагрузки (трёхточечный изгиб). Предельная прочность при изгибе — это максимальное изгибающее усилие, которое способен выдержать образец до начала разрушения. Монолитные диоксидциркониевые образцы были испытаны в лаборатории материаловедения ФГБУ НМИЦ ЦНИИС и ЧЛХ МЗ РФ. Для проведения эксперимента использовали универсальную испытательную машину Zwick/Roell Z010 (рисунок 5). Эта работа была выполнена совместно с с.н.с., к.м.н. Русановым Ф.С. и аспирантом кафедры ортопедической стоматологии РУДН Сахабиевой Д.А. (рисунок 6). Обжиг проводили в печьку Zubler Vario S400 (рисунок 7).



Рисунок 5 - Универсальная испытательная машина Zwick/Roell Z010

Образцы для испытаний были изготовлены согласно международному стандарту ISO 6872, и модифицированы с учетом сравнительного характера испытаний. Образцы в виде пластин 27\*5,2\*2,7 мм были изготовлены из стандартных производственных заготовок методом фрезерования в зуботехнической лаборатории “Дент Сервис” г.Санкт Петербург.



Рисунок 6 - Испытания на прочность при изгибе (методом трехточечного изгиба) на универсальной машине Zwick/Roell Z010 образца из предварительно окрашенного диоксида циркония Zisceram T (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия) цвет А2. Обжиг образцов проводили в печи Zubler Vario S400 (Zubler, Германия).



Рисунок 7 - Печь Zubler Vario S400 (Zubler, Германия)

Были изготовлены 4 группы только фрезерованных образцов (без полирования и без фаски)

1. Каркасный диоксид циркония Urcera HT (Urcera, КНР)-23 образца  
(рисунок 8)

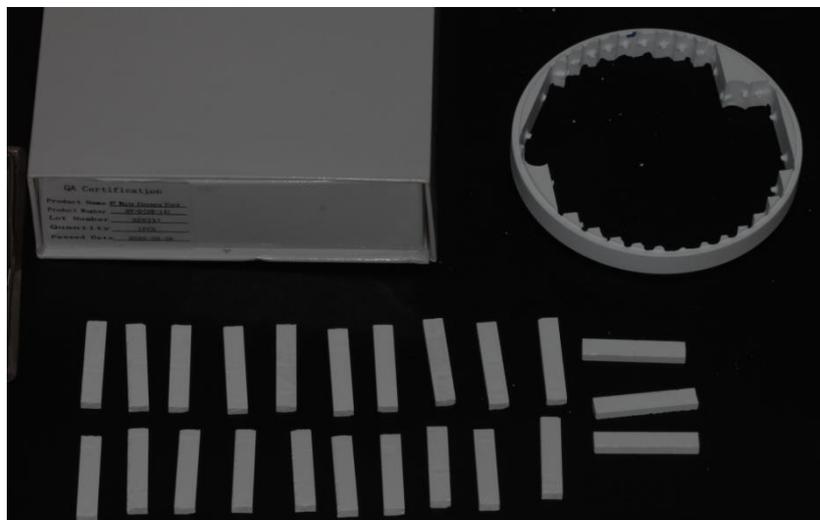


Рисунок 8 - Образцы каркасного диоксида циркония Urcera HT (Urcera, КНР)

2. Полупрозрачный предокрашенный диоксид циркония Urcera ST (Urcera, КНР) цвет А2 -23 образца (рисунок 9)

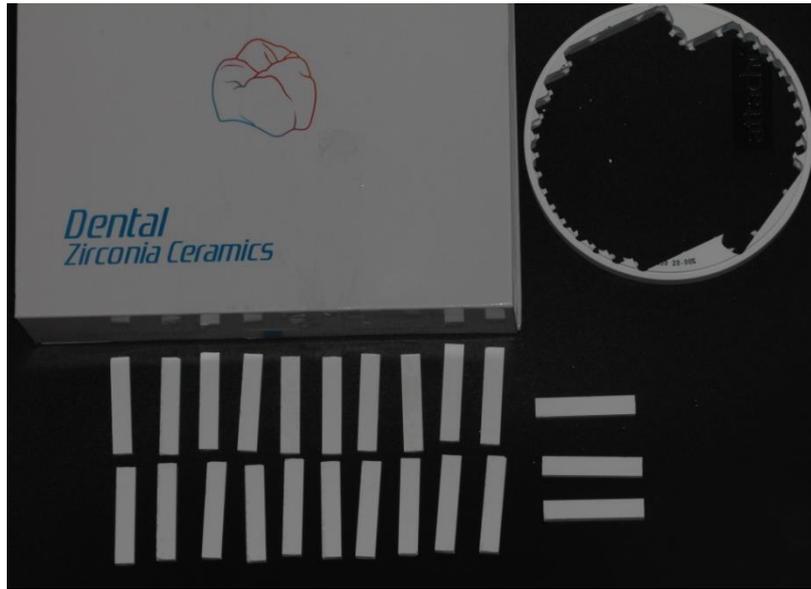


Рисунок 9 - Образцы полупрозрачного предварительно окрашенного диоксида циркония Urcera ST (Urcera, КНР) цвет А2

3. Полупрозрачный предокрашенный диоксид циркония IPS e.max ZirCAD MT, (Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн) цвет А2 – 23 образца (рисунок 10)



Рисунок 10 - Образцы полупрозрачного предварительно окрашенного диоксида циркония IPS e.max ZirCAD MT, (Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн) цвет А2

4. Полупрозрачный предокрашенный диоксид циркония ZiceramT (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия) цвет А2 - 23 образца (рисунок 11)

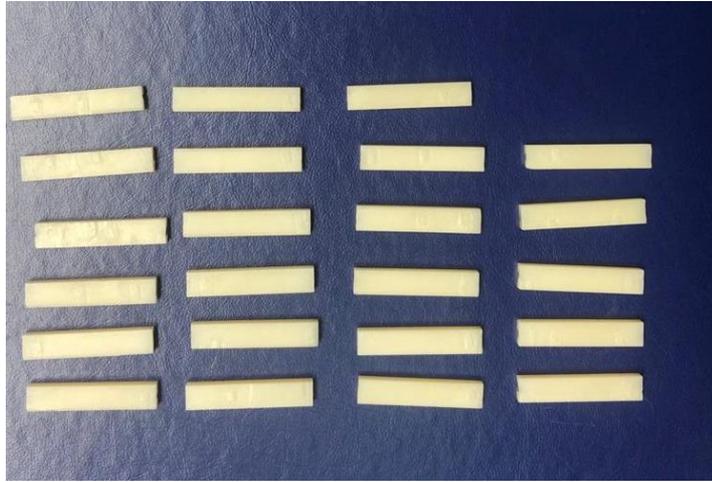


Рисунок 11 - Образцы полупрозрачного предварительно окрашенного диоксида циркония Ziceram T (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия) цвет А2

По 6 образцов из каждой группы были испытаны на прочность при трехточечном изгибе в фрезерованном виде после спекания. Так как полученные результаты не соответствовали показателям прочности, заявленным производителями, то было принято решение отполировать образцы в Институте металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова.

В данном случае исследование проводили на образцах керамики “*IPS e.max ZirCAD MT*” (Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн), обожженных в печи Zubler Vario s400 (Zubler, Германия) по режиму, рекомендованному производителем (1450°C, скорость нагрева 8°C/мин, выдержка при конечной температуре – 120 мин) и образцах “Ziceram T” (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия) обожженных в печи Zubler Vario s400 (Zubler, Германия) по режиму полученному в нашем исследовании при температуре обжига 1550°C с выдержкой 2 часа, скорость нагрева 8°C/мин.

По 6 образцов были испытаны на прочность при трехточечном изгибе. Показатели прочности на изгиб при трехточечном изгибе стали выше, но, по-прежнему ниже показателей, заявленным производителями. Проведено

формирование фаски под углом 45 градусов вручную на образцах с каждой группы (Рисунок 12). Отполированные образцы с фаской были испытаны на прочность при трехточечном изгибе.



Рисунок 12 - Изготовление фаски на отполированных образцах

### **2.1.3 Материалы и методы исследований маскирующей способности полупрозрачного диоксида циркония**

Аппаратный способ оценки цвета зубов основан на компьютерном анализе изображения, и имеет несколько преимуществ:

- отсутствие влияния окружающих условий, в том числе освещения;
- простая документация;
- надежная передача данных.
- простота измерения цвета зубов *in vivo*

Спектрофотометры, это приборы, состоящие из световода, оптической цветовой измерительной системы, детектора и средства преобразования захваченного света в электрический сигнал для возможности математического анализа. Спектрофотометры измеряют спектр отражения световых волн, во множестве точек вдоль видимого спектра (с шагом от 1 до 25 нм по всей области видимого спектра). К недостаткам спектрофотометров относится высокая технологичность и высокая стоимость устройств.

Для изучения параметров цвета коронок из монолитного диоксида циркония была подготовлена гипсовая модель зубного ряда верхней челюсти с позицией аналога имплантата Astra Tech диаметр 3,5/4,0 в проекции зуба 11, а также ее идентичная копия из полиуретана. На эти модели изготовлены 2 идентичных индивидуальных абатмента в позиции имплантата 11. Первый абатмент изготовлен из монолитного диоксида циркония “UrceraST” (Urcera, КНР), второй абатмент изготовлен из титана (рисунок 13).



Рисунок 13 - Идентичные анатомические модели

На эти абатменты изготовлены по 3 идентичные коронки из монолитного диоксида циркония *IPS e.max ZirCAD MT* (IvoclarVivadent, Лихтенштейн) (рисунок 14).

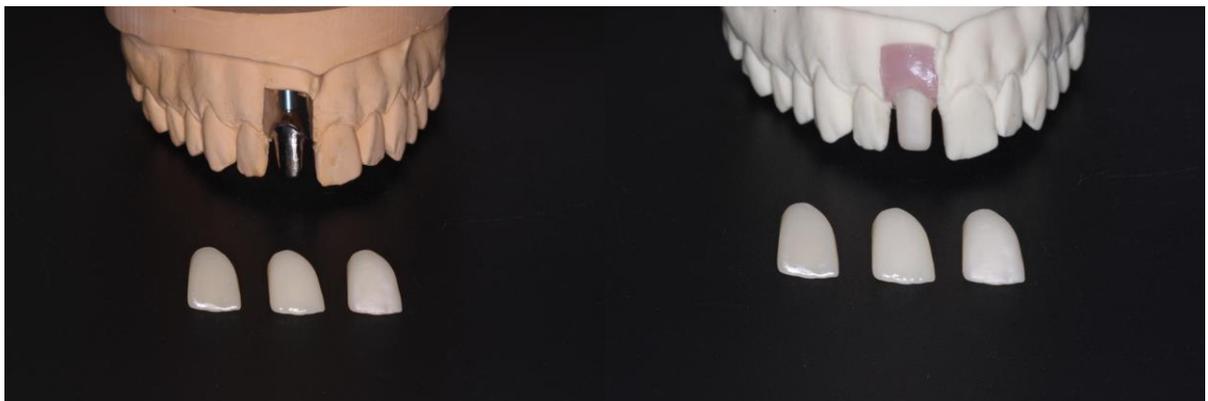


Рисунок 14

Рисунок 15

Рисунок 14 - Гипсовая модель зубного ряда верхней челюсти с титановым абатментом и тремя коронками (фрезерованная, полированная и глазурованная)

Рисунок 15 - Полиуретановая модель зубного ряда верхней челюсти с циркониевым абатментом и тремя коронками (фрезерованная, полированная и глазурованная)

Первая коронка только фрезерованная, вторая коронка фрезерованная и полированная, третья коронка фрезерованная, полированная и глазурованная. Толщина вестибулярной стенки 0,9 мм. Затем изготовлены три новые коронки с толщиной вестибулярной стенки 0,5 мм.

На первом этапе работы проведена припасовка фрезерованной коронки, потом полированной, а затем глазурованной на титановый абатмент без примерочной пасты и определение параметров цвета в 2-х шкалах: Vita Classic и 3D Master, спектрофотометром Easy Shade V (VITA Zahnfabrik, Германия) (рисунок 16). Затем процедура повторялась на абатменте из диоксида циркония.



Рисунок 16 - Измерение параметров цвета полированной диоксидциркониевой коронки, спектрофотометром Easy Shade V (VITA Zahnfabrik, Германия)

Спектрофотометр Easy Shade V был выпущен компанией VITA Zahnfabrik H.Rauter GmbH & Co. KG (Германия) в 2015 году, а в 2016 получил РУ -РЗН 2016/5114 на территории РФ (рисунок 17).



Рисунок 17 - Спектрофотометр Easy Shade V (VITA Zahnfabrik, Германия)  
совместно с моделью верхнего зубного ряда .

Измерения в диапазоне 400-700 нм [123]. Наличие спектральных фильтров, позволяющих измерять спектр ремиссии. Показание цвета на дисплее прибора по шкалам VITA classical A1-D4®, VITA SYSTEM 3D-MASTER®, отбеленных зубов, в соответствии с нормативами American Dental Association (ADA). Bluetooth® для возможности передачи данных из мобильного приложения App VITA mobile Assist или с компьютера с установленной программой VITA Assist. Работа повторялась при припасовке коронок на глицериновые примерочные пасты разных цветов «Variolink II try in» (Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн) (рисунок 18):

1. Прозрачная
2. Опаковая
3. Белая
4. Цвета отбеленных зубов
5. Желтая
6. Коричневая



Рисунок 18 - Пасты разных цветов «Variolink II try in»

Испытания проводились сначала на коронках с толщиной вестибулярной стенки 0,9 мм, а затем в той же последовательности повторялись на коронках с толщиной вестибулярной стенки 0,5 мм.

Для определения цветовых характеристик керамических образцов на основе полупрозрачного диоксида циркония “Ziceram T” (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия) в системе CIE Lab использовали спектроанализатор «Спектрон М» в лаборатории материаловедения ФГБУ НМИЦ «ЦНИИСиЧЛХ» Минздрава России под руководством И.Я. Поюровской (рисунок 19). Определяли цветовые характеристики после обжигов образцов при температурах 1400 °С, 1450 °С, 1500 °С, 1550 °С и 1600 °С с выдержками при данной температуре 1,5 или 2 часа.



Рисунок 19 - Спектроанализатор «Спектрон М»

## 2.2 Материалы и методы экспериментальных исследований

В связи с тем, что производитель диоксид циркониевой керамики ‘Ziceram’ не дает рекомендации по поводу режима спекания блоков, проведено изучение влияния режимов обжига цирконовой керамики на прочность при трехточечном изгибе. Исследование проводили на образцах из материала ‘Ziceram T’ (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия). Для этого изготовили 45 образцы в виде призм размером 27×2,7×5,2мм, полученных методом CAD/CAM фрезерования в зуботехнической лаборатории Дентсервис (Санкт-Петербург) из заготовок Ziceram T, цвет А2. Обжиг проводили в печьку Zubler Vario S400. 3 серии образцов подвергали высокотемпературному обжигу с выдержкой 1 час, 1,5 и 2 часа при температурах 1400°C, 1450°C, 1500°C, 1550°C, 1600°C.

Определяли прочность образцов в лаборатории РиФХИСтоМ ФГБУ ЦНИИС и ЧЛХ МЗ РФ на испытательной машине Zwick/RoellZ010 совместно с с.н.с., к.м.н. Русановым Ф.С. и аспирантом кафедры ортопедической стоматологии РУДН Сахабиевой Д.А. (рисунок 20).



Рисунок 20 - С.н.с., к.м.н. Русанов Ф.С фиксирует образцы

## 2.3 Материалы и методы клинических исследований

### 2.3.1 Общая характеристика пациентов

Всего было принято на лечение 23 пациентов: 4 мужчин и 19 женщин в возрасте от 32 до 68 лет. Было изготовлено 38 протезов протяженностью от 3 до 14 единиц, общим числом 245 зубопротезных единиц. 20 из них изготовлены с опорами на имплантатах, а 18 на свои зубы (12 из них на депульпированные зубы, а 6 из них на витальные зубы). Пациенты в зависимости от материала изготовленных протезов были разбиты на 3 группы согласно критериям отбора и исключения. Отбор пациентов проводили согласно полу, возрасту, обширности и формы дефекта, вида опорных культей (свои зубы или имплантаты), протяженности дефекта и др.

#### Критерии включения

- Мужчины и женщины в возрасте от 20 до 70 лет
- Включенные дефекты во фронтальных отделах
- Полное отсутствие зубов при тотальном протезировании на имплантатах
- Отсутствие воспалительных процессов у опорных зубов или имплантатов

#### Критерии исключения

- Тяжелые хронические расстройства общесоматического характера, в частности в стадии обострения
- Психосоматические патологии
- Алкоголизм или наркомания
- Тяжёлое хроническое заболевание пародонта.
- Серьезное разрушение опорных зубов с заходом под десну
- Выраженное стирание зубов степени 2 – 4 по Бракко
- Хронический пародонтит в стадии обострения
- Отказ пациента от участия в эксперименте.

### 2.3.2 Методика ортопедического лечения монокристаллическими мостовидными зубными протезами на основе диоксида циркония с опорой на зубы или имплантаты

Каждому пациенту, принимающему участие в исследовании, проводилось полное клиническое обследование. В ходе клинического обследования, пациентов опрашивали, изучали их анамнез, проводили внешний осмотр, осматривали полость рта, направляли на дополнительные исследования, в том числе, рентгенографические, анализировали диагностические модели, проводили фотосъёмку (рисунок 21, 22). На основании этих данных пациентам выставляли диагноз и выбирали оптимальный план лечения.



Рисунок 21- Фотографии лица на этапе диагностики



Рисунок 22 - Фотографии зубов и полости рта перед началом ортопедической реабилитации

Все реставрации были изготовлены по технологии CAD/CAM (виртуальное моделирование и фрезерная обработка заготовок). Процесс ортопедической реабилитации монокристаллическими диоксидциркониевыми реставрациями был разбит на 3 этапа: подготовка, основное лечение и профилактика.

В зависимости от ситуации во рту пациента на подготовительном этапе к ортопедической реабилитации в различных комбинациях выполнялись следующие процедуры:

- Профессиональный гигиенический уход
- Удаление дефектных протезов
- Удаление намеченных зубов
- Удаление кариеса
- Эндодонтическое лечение \ перелечивание зубов по мере необходимости
- Костная и десневая пластика
- Установка имплантатов
- Установка формирователей десны
- Препарирование опорных зубов под безметалловые коронки (рисунок 23)
- Изготовление временных мостовидных протезов



Рисунок 23 - Одонтопрепарирование и установка трансферов

После снятия временных протезов проводилось снятие оттисков протезируемой челюсти. При протезировании монолитными конструкциями на основе диоксида циркония с опорой на свои зубы проводилось расширение десневой борозды опорных зубов ретракционной нитью “Ultrapack” (Ultradent, США) пропитанной гемостатическим гелем “Viscostat” (Ultradent, США) снятие одномоментного двухслойного силиконового оттиска, используя оттискные массы

“Bisico S1 suphy” и “ Bisico S4 Suphy” (Bisico, Германия). При протезировании на имплантатах проводилась установка трансферов под рентгенологическим контролем, армирование трансферов, получение двухслойных одноэтапных оттисков индивидуальной ложкой методом открытой ложки, используя оттисковые массы “Bisico” и “Suphy S4”. С зубов антагонистов снимали оттиск силиконовой массой “Speedex Putty” и “Speedex light body” (Coltene Whaledent, Швейцария). Характер смыкания фиксировали силиконовыми регистратами “Occlufast rock” (Zhermack, Италия). Определение цвета проводили цифровым методом аппаратом Easy shade V (VITA Германия) и аналоговым методом по стандартным расцветкам VITA Classic и VITA 3D Master (рисунок 24).



Рисунок 24 - Определение цвета аналоговым методом

В зуботехнической лаборатории изготавливали монолитные протезы на основе диоксида циркония из трех разных материалов “Urcera ST” (Urcera, КНР), “ IPS e.max ZirCad MT” (Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн), “Ziceram T” (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия). Заготовки из этих материалов отличаются формами и размерами, предварительно окрашены и находятся в полуспечённом состоянии. Для проведения диссертационного исследования были использованы диоксидциркониевые заготовки в форме дисков диаметром 98,5 мм, толщиной 14 мм. Из этих дисков изготавливали монолитные зубные протезы по технологии CAD/CAM. Технологический протокол состоял из нескольких этапов: внеротовое

сканирование, оцифровка, виртуальное моделирование, фрезерование дисков на станке с ЧПУ, обжиг, нанесение красителей и глазурование.

Сканирование проводилось с помощью 5-ти осевого сканера InEos X5, который позволяет отсканировать работу с точностью 2,1 мкм. После получения цифровой модели проводилось компьютерное моделирование будущих конструкций в программе Exocad Dental CAD 3.0 Galway. Фрезерование протезов проводилась на фрезерном станке Roland DWX-52D (Roland, Япония). Спекание протезов из материалов “UrceraST” (Urcera, КНР) и “ IPS e.max ZirCad MT” (Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн) проводилась в соответствии с рекомендациями производителя, спекание образцов из материала “Ziceram T” (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия) проводилась в соответствии с результатами наших экспериментальных исследований.

Окрашивание проводилось красками Miyo liquid ceramic с помощью кисточки в один слой, затем спекание в соответствии с рекомендациями производителя, нанесение глазурной пасты In Sync Glaze Paste и спекание в соответствии с рекомендациями производителя.

После получения монолитных мостовидных протезов из диоксида циркония из лаборатории, проводился этап контроля периметра «перемычек» между коронками. Контроль проводили с помощью флосса. Флоссом связывали периметр «перемычек», отрезали излишнюю часть флосса, и длину измеряли с помощью линейки (рисунок 25).



Рисунок 25 - Измерение периметра перемычек с помощью флосса

Проверку протезов проводили оттискным материалом низкой вязкости на основе силикона “Hydrorise light body” (Zhermack, Италия) с подтверждением по контрольным рентгенограммам. Для проверки окклюзионных контактов использовали артикуляционную бумагу Vausch (Германия) разной толщины. Протезы с опорой на зубы были зафиксированы стеклоиономерным цементом Fuji I (GC, Япония) и Relyx u200 (3M Espe США) на депульпированных зубах пациентов.

Мостовидные протезы с опорой на имплантаты были изготовлены винтовой фиксации. Фиксация винтов проводилась с помощью динамометрического ключа строго по инструкции производителя имплантатов. Закрытие шахт винтов проводилось с помощью фторопластовой ленты и композита светового отверждения “Filtek ultimate flow” (3M Espe, США).

На этапе контроля и профилактики у пациентов оценивали гигиеническое состояние полости рта и состояние установленных протезов; проверяли окклюзию; выполняли профессиональные мероприятия по гигиеническому уходу за полостью рта. На каждом из контрольных осмотров, на которые пациентов назначали через 1,3,6,12,18,24 месяца, был проведен тщательный осмотр ортопедических конструкций, фотографирование, окрашивание раствором Люголя и протезов и своих зубов для оценки уровня гигиены и наличия трещин (рисунок 26).



Рисунок 26 - Окрашивание зубов и керамических протезов раствором Люголя

Фотографирование проведено с помощью фотоаппарата CANON 6 D, Объектив Canon EF 100mm f/2.8L Macro IS USM и профессионального поляризационного фильтра для дентальной фотографии Polar-eyes | PhotoMed (США).

### 2.3.3 Методика оценки результатов ортопедического лечения

Оценка эффективности ортопедической реабилитации пациентов несъемными стоматологическими конструкциями в клинических условиях часто бывает затруднительной. Для того чтобы оценить состояние несъемных протезов и тканей пародонта в динамике, были изучены несколько параметров:

1) Цветовые соответствия коронок после фиксации “Маскирующий эффект”;  
2) краевое прилегание; 3) мнение пациента; 4) состояние пародонта; 5) степень разрушения зубных протезов.

**1) Цветовые соответствия коронок после фиксации и “Маскирующий эффект».** Определялся визуально или с помощью фотографии исходя из внешнего вида реставрации, а также аппаратом Easy Shade V.

**2) Краевое прилегание.** Расценивалась, как граница между реставрацией и твердыми тканями зуба (переход на зуб).

**3) Мнение пациента.** Пациент мог предъявлять жалобы на нарушение функции или дискомфорт. Например, грубая поверхность реставрации может травмировать язык, и это оценивалось как жалоба со стороны пациента.

**4) Состояние пародонта.** Оценка производилась периодонтальным зондом по индексам гигиены. Неровные края реставрации, нависающие края, неадекватная анатомическая аппроксимальная форма могут привести к накоплению микробного налета и воспаления десны.

**5) Степень разрушения.** Оценка производится с помощью зонда или гладилки, диагностировалась либо щель перелома, либо смещение отломанной части

мостовидного протеза, а также методом окрашивания раствором Люголя мостовидного протеза.

**6) Ретенция протеза.** Наличие или отсутствие случаев расцементировки или подвижности мостовидных протезов.

**7) Аллергические реакции.** Наличие или отсутствие аллергических реакций

Спустя 1,3,6,12,18 и 24 месяцев после фиксации протезов пациентов вызывали на контрольные осмотры, где их опрашивали, осматривали, оценивали гигиеническое состояние рта и дёсен в области конструкций, а также оценивали целостность мостовидных протезов методом окрашивания раствором Люголя, проводили фотосъёмку зубных протезов и протезного поля. В процессе осмотра в первую очередь оценивали гигиеническое состояние полости рта, а затем, в случае необходимости, переходили к проведению мероприятий по профессиональному гигиеническому уходу за полостью рта (таблица 2.3.3.1).

Таблица 2.3.3.1 - Данные визуального и зондового обследования

	<b>Категория</b>	<b>Оценка</b>	<b>Критерий оценки</b>
1	<b>Аллергические реакции</b>	0	Отсутствие аллергических реакций
		1	Наличие аллергических реакций
2	<b>Прилегание коронок к опорным зубам или имплантатам</b>	0	Плотное прилегание, зонд не застревает
		1	Край коронки ощущается зондом, клинически приемлемо
		2	Ощутимый и визуально заметный зазор, клинически неприемлемо
3	<b>Состояние десневого края</b> (согласно индексу РМА)	0	Менее 30%
		1	31-60%
		2	61% и выше

4	<b>Цифровое соответствие</b> (визуально шкалой и с применением цифрового аппарата EasyShadeV)	0	Не отличается от соседних зубов по цвету и прозрачности
		1	Немного отличается, но клинически приемлемо
		2	Сильно отличается, клинически неприемлемо
5	<b>Наличие сколов, трещин, дефектов поверхности</b> (визуально и инструментально зондом и после окрашивания раствором Люголя)	0	Отсутствие
		1	Наличие
6	<b>Ретенция протеза</b>	0	Отсутствие случаев расцементировки
		1	Расцементировка или подвижность протеза
7	<b>Субъективные ощущения пациента</b>	0	Отсутствие дискомфортных явлений, быстрое привыкание
		1	Наличие легкого дискомфорта, ощущения непривычности
		2	Непреодолимый дискомфорт

Пациентов опрашивали на предмет субъективных ощущений, присутствие или отсутствие болей или дискомфорта во рту, а также задавали вопросы по поводу динамики ощущений (если таковая имела место). Качество протезов оценивали визуально или с помощью инструментов, данные заносили в историю болезни. В процессе визуального осмотра особое внимание было обращено на то,

как выглядит протез, и на присутствие дефектов (сколов, шероховатостей поверхности, трещин). Уровень гигиены и состояние краевого пародонта оценивали согласно гигиеническому индексу РМА.

Не меньшее внимание было уделено гигиеническому статусу вокруг мостовидного протеза и состоянию дёсен вокруг опорных зубов или имплантатов. Прилегание краёв коронок определяли с помощью тонкого стоматологического зонда, и данные вносили в историю болезни для динамического наблюдения, фиксируя случаи его застревания или отсутствия застраивания в этой границе. Оклюзионные контакты оценивали с помощью артикуляционной бумаги (Bausch, Германия) согласно методике производителя, оценку проводили листками разной толщины. Фотографии снимали в разных ракурсах: спереди, сбоку, сверху и снизу, в зеркальном отображении протезов.

#### **2.4 Методика статистической обработки результатов**

Статистическую обработку результатов проводили на компьютере в программе Microsoft Office Excel (Microsoft Corp., Redmond, WA, USA). Для обработки результатов использовали пакет статистических программ Stat graphics 7.0 (Stat point Technologies, Inc., Warrenton, VA, USA). Результаты представлены в виде  $M \pm m$ , где  $M$ - среднее арифметическое,  $m$ - стандартное среднестатистическое отклонение.

## ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1 Результаты физико-механических исследований прочности диоксидциркониевых образцов зубных протезов при трехточечном изгибе

В лаборатории материаловедения ФГБУ НМИЦ «ЦНИИС и ЧЛХ» МЗ РФ было исследовано влияние температуры обжига и его продолжительности на механическую прочность диоксидциркониевой керамики. Исследование провели на образцах из петербургского материала “Zisceram T” (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия), обожженного в печи Zubler Vario s400 (Zubler, Германия) (таблица 3.1.1).

В проведении эксперимента с выдержкой 1 час мы установили, что с повышением температуры (1400°C, 1450°C, 1500°C, 1550°C, 1600°C) прочность на изгиб увеличивается с  $553\pm 142$  МПа до  $600\pm 70$  МПа. Обратная картина наблюдалась при двухчасовой выдержке: при 1400°C прочность составила  $671\pm 104$  МПа, а при 1600°C - чуть ниже  $655\pm 105$  МПа. При увеличении времени выдержки до 2 часов прочность образцов повышалась независимо от конечной температуры. Например, прочность при температуре обжига 1500°C в течение 1 часа, составила  $508\pm 109$  МПа, при 1550°C с выдержкой 1,5 часа показатель прочности был выше  $555\pm 130$  МПа, а при двухчасовой выдержке при 1500°C еще выше -  $684\pm 42$  МПа. Самый высокий показатель прочности при трехточечном изгибе в трех сериях эксперимента получен при температуре обжига 1550°C с выдержкой 2 часа и составил  $705\pm 112$  МПа. Этот режим обжига мы сочли наилучшим и использовали его в клинике при изготовлении монолитных мостовидных зубных протезов на основе диоксида циркония “Zisceram T” (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия) с опорой на зубы или на имплантаты.

Таблица 3.1.1 - Режимы обжига и полученные показатели прочности при трехточечном изгибе

Материал	Скорость нагрева, °С/мин	Конечная температура обжига, °С	Время выдержки, мин	Скорость охлаждения, °С/мин	Сила разрушения, Н	Прочность при изгибе, МПа
Ziceram Т, режим 1	8°С/мин	1400°С	60	8°С/мин	744Н	553±142
Ziceram Т, режим 2	8°С/мин	1400°С	90 мин	8°С/мин	804Н	581±113
Ziceram Т, режим 3	8°С/мин	1400°С	120мин	8°С/мин	933Н	671±104
Ziceram Т, режим 4	8°С/мин	1450°С	60 мин	8°С/мин	814Н	588±117
Ziceram Т, режим 5	8°С/мин	1450°С	90 мин	8°С/мин	743Н	548±122
Ziceram Т, режим 6	8°С/мин	1450°С	120мин	8°С/мин	878Н	650 ±112
Ziceram Т, режим 7	8°С/мин	1500°С	60 мин	8°С/мин	711Н	508 ±109
Ziceram Т, режим 8	8°С/мин	1500°С	90 мин	8°С/мин	763Н	555±130
Ziceram Т, режим 9	8°С/мин	1500°С	120мин	8°С/мин	942Н	684 ±42
Ziceram Т, режим 10	8°С/мин	1550°С	60 мин	8°С/мин	735Н	560±131
Ziceram Т, режим 11	8°С/мин	1550°С	90 мин	8°С/мин	765Н	555±89
Ziceram Т, режим 12	<b>8°С/мин</b>	<b>1550°С</b>	<b>120мин</b>	<b>8°С/мин</b>	<b>998Н</b>	<b>705 ±112</b>
Ziceram Т, режим 13	8°С/мин	1600°С	60 мин	8°С/мин	833Н	600 ±70
Ziceram Т, режим 14	8°С/мин	1600°С	90 мин	8°С/мин	802Н	620±103
Ziceram Т, режим 15	6°С/мин	1600°С	120мин	6°С/мин	903Н	655 ±105

Еще одним этапом испытаний было сравнение прочности при изгибе образцов полупрозрачной керамики цвета А2 от трёх разных производителей – “Urcera ST” (Urcera, КНР), “ IPS e.max ZirCAD MT ” (Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн), “Ziceram T” (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия) с образцом каркасной керамики на основе диоксида циркония Urcera HT белый ((Urcera , КНР), а также сравнительная оценка показателей, полученных в лаборатории, с данными от изготовителей диоксид циркониевой керамики (Таблица 3.1.2.). Испытания проводились на отшлифованных образцах, обожжённых согласно режимам производителей в печи Zubler Vario s400 (Zubler, Германия).

Таблица 3.1.2 - Прочность при изгибе диоксид циркониевых керамик в результате испытаний образцов в лаборатории и по данным производителей, МПа

Прочность при изгибе (МПа)	Urcera ST (КНР) Цвет А2	IPS e-max ZirCAD MT (Лихтенштейн) Цвет А2	Ziceram T (Санкт-Петербург) Цвет А2	Urcera HT - каркасный (Китай)
Данные производителей	1200*	1136**	1400***	1400*
Данные лаборатории	1010±101	953±96МПа	705±112	1232±83

\* По материалам интернет-сайта [www.uncera-dental.com/](http://www.uncera-dental.com/)

\*\* По материалам интернет-сайта [www.ivoclar.com/ru\\_ru/products/digital-processes/ips-e.max-zircad](http://www.ivoclar.com/ru_ru/products/digital-processes/ips-e.max-zircad)

\*\*\* По материалам интернет-сайта [zirconceramics.ru](http://zirconceramics.ru)

Результаты этого исследования показали, что лабораторные данные по прочности оказались ниже показателей, заявленных производителями. При сравнении данных производителей наибольшая прочность была заявлена у петербургского материала “Ziceram T” (Циркон Керамика, Санкт-Петербург,

Россия) [122] и у каркасного материала “Urcera HT” (Urcera, КНР)[121]. Однако, по данным лабораторных испытаний наибольшей прочностью обладал каркасный “Urcera HT” (Urcera, КНР), второе место среди образцов и первое место среди предокрашенных материалов занял “Urcera ST” (Urcera, КНР), за ним следует “IPS e.max ZirCAD MT” (Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн), а “Ziceram T” (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия) был только на четвертом месте.

Так как полученные результаты не соответствовали показателям прочности заявленным производителями, и в цитируемых источниках не было указано о степени обработки поверхности образцов, то было принято решение дополнительно отполировать образцы двух групп: “Ziceram T” (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия) и “IPS e.max ZirCAD MT” (Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн) в институте металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова. В данном случае исследование проводили на образцах керамики “IPS e.max ZirCAD MT” (Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн), обожженных в печи Zubler Vario s400 (Zubler, Германия) по режиму, рекомендованному производителем (1450°C, скорость нагрева 8°C/мин, выдержка при конечной температуре – 120 мин) и образцах “Ziceram T” (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия) обожженных в печи Zubler Vario s400 (Zubler, Германия) по оптимальному режиму полученному в нашем исследовании: при температуре обжига 1550°C с выдержкой 2 часа, скорость нагрева 8°C/мин (Таблица 3.1.3).

Таблица 3.1.3 - Прочность при трехточечном изгибе образцов “Ziceram T” А2 (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия) после фрезерования и после дополнительного полирования

Обработка поверхности образца	F <sub>макс.</sub> , Н	Прочность при изгибе, МПа
Фрезерованные	998,12	705±112
Полированные	1089,17	826 ±93

По 6 образцов были испытаны на прочность при трехточечном изгибе. Сравнение фрезерованных и полированных образцов керамики “Ziceram T” (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия) (таблица 3.1.3) и “ IPS e.max ZirCAD MT” (Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн), (таблица 3.1.4) показало, что полирование позволяет повысить показатели прочности материала при изгибе.

Таблица 3.1.4 - Прочность при изгибе фрезерованных и полированных образцов “ IPS e.max ZirCAD MT” (IvoclarVivadent, Лихтенштейн) (без фаски).

Обработка поверхности образца	F <sub>макс.</sub> , Н	Прочность при изгибе, МПа
Фрезерованные	1007,44	953±96
Полированные	1089,17	986±87

Показатели прочности при трехточечном изгибе стали выше, но, по-прежнему, ниже показателей, заявленных производителями.

Следующим изучаемым фактором влияния на прочность при изгибе диоксидциркониевой керамики было присутствие фасок на образцах. Известно, что острые грани образцов являются концентраторами напряжений, поэтому согласно международному стандарту ISO 6872:2015 рекомендуется делать фаски на образцах, однако испытания образцов без фасок тоже допускаются. Сравнение образцов керамики “Ziceram T” A2 (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия) с фаской и без фаски (Таблица 3.1.5) показало, что присутствие фаски способствует повышению показателей прочности материала при изгибе.

Таблица 3.1.5 - Прочность при изгибе образцов “Ziceram T” A2 (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия) с фаской и без фаски.

Образцы керамики	F <sub>макс.</sub> , Н	Прочность при изгибе, МПа
Без фаски	1089,17	826 ±93
С фаской	1112,13	876 ±101

Эти данные будут полезны и для зубных техников, работающих с диоксидом циркония. Результаты данного раздела диссертационного исследования показали, что тщательная полировка обожжённых работ и сглаживание острых углов и граней позволяет повысить механическую прочность реставрации и снизить риск переделки работ в результате перелома.

### **3.2 Результаты исследований маскирующей способности стоматологической керамики на основе полупрозрачного диоксида циркония**

В этом разделе диссертационного исследования мы изучили 6 видов коронок из керамики на основе полупрозрачного диоксида циркония “ IPS e.max ZirCAD MT ” цвета А2 (Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн): 3 коронки с толщиной вестибулярной стенки  $0,5\pm 0,07$  мм и 3 коронки с толщиной вестибулярной стенки  $0,9\pm 0,05$  мм, причём в каждой из этих групп по одной коронке вестибулярная поверхность была обработана по одному из трех вариантов: только фрезерованные и спеченные по рекомендуемому режиму, спеченные и глазурированные, спеченные и полированные. Каждую коронку примеряли на искусственную культю из титана или из диоксида циркония. Посадку коронки на культю осуществляли 7 разными способами: без примерочной пасты, на прозрачную примерочную пасту и на 5 цветных примерочных паст. Таким образом, с учетом двух видов стоматологических расцветок («VITACLASSIC» и «VITA 3DMASTER») всего проведено  $6 \times 7 \times 2 = 84$  процедуры определения параметров цвета протезов.

В таблице 3.2.1 проведены результаты оценки цветовых характеристик 3х коронок с толщиной вестибулярной стенки  $0,5\pm 0,07$  мм с посадкой на 2х видах культей с 6 вариантами фиксирующих примерочных паст и без пасты с помощью аппарата «EASY SHADE V».

Анализ результатов показывает, что цвет коронок на титановой культе независимо от качества поверхности (не полированная, полированная, глазурированная) темнее, чем на керамической культе, соответственно, вместо А3 на керамике – А3,5 на титане; А3 на керамике - А3 на титане, вместо В3 на

керамике - В4 на титановой культе. Наглядно показано, что при толщине коронки из полупрозрачного диоксида циркония цвет примерочной пасты существенно меняет цвет коронки. Например, при использовании белой примерочной пасты цвет глазурованной коронки на титановой культе равен А4, а при использовании примерочной пасты коричневого цвета цвет коронки становится D4. Такое изменение цвета отмечено и при использовании аппарата «EASY SHADE V».

Мы также отметили интересный факт, что обработка поверхности керамической коронки из керамики на основе полупрозрачного диоксида циркония влияет на цветовые показатели. Цвет коронки толщиной 0,5 мм без примерочной пасты на керамической культе колеблется от А3 –у фрезерованной не полированной коронки и у фрезерованной полированной коронки до более желтого В3 у глазурованной коронки. Аналогичная картина у коронок на титановой культе: от цвета А3,5 у фрезерованной не полированной коронки и у фрезерованной полированной коронки к более желтому цвету В4 у глазурованной коронки. При использовании расцветки «VITA 3D MASTER» мы получили аналогичные результаты как на титановой, так и на керамической культе. После глазурования цвет коронки меняется: либо в более светлый показатель «2М3» вместо «3М3» у неполированной или «3R2,5» у полированной, но не глазурованной коронки.

В таблице 3.2.2. приведены результаты оценки цвета коронок с толщиной вестибулярной стенки 0.9 мм на титановой или керамической культе без использования примерочной пасты и с применением прозрачной и 5 разновидностей цветных примерочных паст. Анализ полученных данных показывает практически полное совпадение всех замеров цвета: А2 по шкале «VITACLASSIC» и 1М2 по шкале «VITA 3DMASTER». Полученные результаты свидетельствуют о том, что коронки с толщиной стенки 0,9 мм из керамики на основании полупрозрачного диоксида циркония “ IPS e.max ZirCAD MT” не изменяют свой цвет при изменении цвета культы: керамическая А2 или титановый абатмент, без применения или с применением 6 различных примерочных паст.

Для практики это означает, что такие коронки невозможно корректировать по цвету с применением цветных цементов. Это недочёт, с одной стороны, но с другой, это свидетельствует о высокой маскировочной способности таких коронок и возможности их применения на титановых абатментах или резко измененных в цвете зубах без какого-либо цветового воздействия на окончательный цвет зубного протеза.

Таким образом, в данной части диссертационного исследования было убедительно показано, что при толщине изученных керамических коронок из полупрозрачного диоксида циркония  $0,9 \pm 0,07$  мм независимо от обработки их вестибулярной поверхности, материала абатмента и цвета проверочной пасты параметры фиксированного протеза соответствовали цвету исходного образца. При толщине  $0,5 \pm 0,05$  мм картина была иной: цвет коронки, фиксированной на титановом абатменте, достоверно отличался от исходного по оттенку.

Для стоматологической практики можно предложить следующие рекомендации: для получения наиболее эстетичного результата протезирования коронками из прочной полупрозрачной диоксид циркониевой керамики (на примере материала “ IPS e.max ZirCAD MT” A2, Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн) на титановых абатментах, следует создавать вестибулярную стенку протеза толщиной не менее 1 мм; в противном случае необходимо использовать абатменты из диоксид циркониевой керамики.

Таблица 3.2.1 - Параметры цвета керамических коронок из полупрозрачного диоксида циркония толщиной 0,5 мм

(Спектрофотометр «EASY SHADE V», расцветки «VITA CLASSIC / 3D MASTER»)

		Без примерочной пасты	Прозрачная примерочная паста «Variolink try in»	Опаковая примерочная паста «Variolink try in»	Белая примерочная паста «Variolink try in»	Примерочная паста примерочная паста «Variolink try in» цвета отбеленных зубов	Желтая примерочная паста «Variolink try in»	Коричневая примерочная паста «Variolink try in»
Коронка Полированная	Титановый абатмент	A3,5	A3	A3	A3	C2	A3	B3
		3R2.5	3L1.5	3L1.5	3L1.5	3L1.5	3L1.5	3M1
	Абатмент из диоксида циркония	A3	A2	A3	A2	A3	A2	A2
		3R2.5	2M2	2M2	2M2	2M2	2M3	2M3
Коронка Глазурованная	Титановый абатмент	B4	A2	A4	A2	B2	A3	D4
		3M2	1M2	3R1.5	2L1.5	2L1.5	3M2	5M1
	Абатмент из диоксида циркония	B3	B2	A1	A2	B2	A2	A3,5
		2M3	2L1.5	1M2	2M2	2M2	2R1.5	4M2
Коронка Фрезерованная	Титановый абатмент	A3,5	A3.5	A3	A3.5	C2	A3	C3
		3R2.5	3L1.5	3L1.5	3L1.5	3L1.5	3L1.5	3M1
	Абатмент из диоксида циркония	A3	A3	A3	A3	A3	A2	A2
		3M3	3M2	3M2	3M2	3M2	3M3	2M3

Таблица 3.2.2 - Параметры цвета керамических коронок из полупрозрачного диоксида циркония толщиной 0,9 мм

(Спектрофотометр «EASYSHADEV», расцветки «VITACLASSIC / 3DMASTER»)

		Без приме рочно й пасты	Прозрачна я примерочн ая паста «Variolink try in»	Опаковая примерочн ая паста «Variolink try in»	Белая примерочн ая паста «Variolink try in»	Примерочн ая паста «Variolink try in» цвета отбеленных зубов	Желтая примерочн ая паста «Variolink try in»	Коричнева я примерочн ая паста «Variolink try in»
Коронка фрезерованная) (глазурированная, полированная,	Титановый абатмент	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2
		1M2	1M2	1M2	1M2	1M2	1M2	1M2
	Абатмент из диоксида циркония	A2	A2	B2	A2	A2	A2	A2
		1M2	1M2	1M2	1M2	1M2	1M2	1M2

Определение степени прозрачности образцов «Ziceram T» цвета А2 производства ООО Циркон Керамика, (С.-Петербург) проведено нами в лаборатории материаловедения ФГБУ НМИЦ «ЦНИИС и ЧЛХ» Минздрава РФ на цветоанализаторе «Спектрон-М» совместно с И.Я. Поюровской в соответствии с ГОСТ Р 58165-2018 (ISO/TP 28642:2016). Для этого измеряли цвет на белом и черном фоне и сравнивали между собой. Если показатель полупрозрачности (различие в цвете одного и того же образца при измерении его цвета на белом и черном фоне) образца толщиной 1 мм равен или менее  $DE_{ab}^* = 1,2$ , то испытуемый материал обладает превосходной маскирующей способностью; если это различие более  $DE_{ab}^* = 2,7$ , маскирующую способность материала считают низкой. Испытания степени прозрачности проводили керамических образцов «Ziceram T»

цвета А2 уменьшенной толщины (в среднем -  $1,1 \pm 0,2$  мм). Результаты представлены в таблице 3.2.3.

Таблица 3.2.3 - Характеристика степени прозрачности керамических образцов при разных режимах спекания

№ п/п	Шифр режима обжига	Основные параметры режима			Толщина образца, мм	ΔЕ черн фон- белый фон	Коэффициент* прозрачности, %
		Т-ра обжига, °С	Время выдержки, ч	Скорость нагрева/охлаждения, °С/мин			
1	1	1400	2	8	1,168	2,57	8,8
2	2	1450	2	8	0,929	3,61	8,8
					1,100	3,16	9,1
3	3	1500	2	8	1,092	2,48	8,2
4	4	1550	2	8	1,409	2,24	7,1

Наши спектрофотометрические исследования позволили установить, что при оптимальном режиме обжига ( $1550^{\circ}\text{C}$  - 2 часа) образцы имеют достоверно меньшую светлоту «L»  $=67.942 \pm 0.692$ , чем у образцов, спеченных при температуре  $1600^{\circ}\text{C}$  («L»  $= 68.921 \pm 0.408$ ).

Мы установили также влияние температуры обжига керамики на её цветовые характеристики: «a» и «b» (по системе CIE Lab). Наибольшие различия при обжиге установлены по показателю «a»: при режиме  $1400^{\circ}\text{C}$  2 часа «a» равен  $-1.355 \pm 0.811$  и при  $1550^{\circ}\text{C}$   $-2.637 \pm 0.060$ . Но закономерного сдвига в красный диапазон нами не было отмечено: при температуре  $1600^{\circ}\text{C}$  показатель «a» составил  $-1.803 \pm 0,038$ , что существенно ниже, чем при обжиге  $1500^{\circ}\text{C}$  ( $-2.147 \pm 0.206$ ), но достоверно выше, чем при температуре  $1400^{\circ}\text{C}$  ( $-1.355 \pm 0.811$ ). Изучая показатели «b», мы установили, что максимальный сдвиг в желтый диапазон отмечен при температуре  $1400^{\circ}\text{C}$  ( $+9.507 \pm 2.236$ ), а минимальный - при температуре  $1550^{\circ}\text{C}$  ( $+6,795 \pm 0,151$ ). При других режимах значения показателя «b»

занимают среднее положение и практически совпадают:  $+8.563 \pm 0.265$  при температуре  $1600^\circ\text{C}$ ,  $+8.673 \pm 0.265$  при температуре  $1500^\circ\text{C}$ ,  $+8.685 \pm 0.151$  при температуре  $1450^\circ\text{C}$ .

Таким образом, установлено существенное влияние конечной температуры обжига на все параметры цвета системы CIE Lab, которые с повышением температуры меняются бессистемно и разнонаправлено. При оптимальном режиме обжига образцы полупрозрачного диоксида циркония обладают средними значениями показателя прозрачности и их маскирующая способность не велика. Для эффективной маскировки цвета культи зуба или абатмента имплантат толщина стенки коронки должна быть более 0,9 мм.

### 3.3 Результаты клинических исследований

Всего было принято на лечение 23 пациента: 4 мужчин и 19 женщин в возрасте от 31 до 68 лет (таблица 3.3.1). Было изготовлено 33 монолитных мостовидных протезов на основе диоксида циркония, общим числом 216 зубопротезных единиц, протяженностью от 3 до 14 единиц. 18 протезов изготовлены с опорами на имплантаты, а 15 на естественные зубы (9 на депульпированные зубы, а 6 на витальные зубы).

Таблица 3.3.1 - Общая характеристика пациентов, материалы полноконтурных мостовидных протезов, протяженность и сроки наблюдения

Пациент	Пол	Возраст	Материал, из которого сделан протез	Протяженность протеза, единицы зубопротезные	Сроки динамического наблюдения, мес
1	ж	67	Ziceram T	5	24
2	ж	66	Ziceram T	4 ,3,7	24
3	м	65	Ziceram T	4, 4	24
4	ж	31	Ziceram T	4,4	24

5	м	54	Ziceram T	3	24
6	ж	65	Ziceram T	5,	24
7	ж	64	Ziceram T	6,3	27
8	ж	50	Ziceram T	5	26
9	ж	68	Ziceram T	7	26
10	ж	56	Ziceram T	7	25
11	м	52	Ziceram T	4	25
12	м	59	Upcera ST	6	25
13	ж	68	IPS e.max ZirCAD MT	8,6	25
14	ж	59	Ziceram T	5	25
15	ж	53	IPS e.max ZirCAD MT	6	24
16	ж	43	Ziceram T	5	24
17	ж	51	Ziceram T	10	24
18	ж	50	IPS e.max ZirCAD MT	14,14	24
19	ж	63	Ziceram T	12,14	24
20	ж	56	Upcera ST	14,14	24
21	ж	34	IPS e.max ZirCAD MT	3,3	24
22	ж	56	Upcera ST	4	24
23	ж	52	Upcera ST	3	24

В таблице 3.3.2 представлены характеристики изготовленных монокерамических мостовидных зубных протезов на основе полупрозрачного диоксида циркония пациентам трех групп.

Таблица 3.3.2 - Общая характеристика керамических мостовидных зубных протезов на основе диоксида циркония, изготовленных пациентам трёх групп

Характеристики монолитных керамических мостовидных зубных протезов (МКМЗП)	Группы пациентов		
	1	2	3
Материал МКМЗП	«Ziceram T»	«IPS e.max ZirCAD MT»	«Urcera ST»
Всего МКМЗП	21	7	5
Всего зубопротезных единиц в МКМЗП	121	54	41
Протяженность тела МКМЗП	Число протезов		
1 моляр	7	1	2
1моляр и 1премоляр	2	0	1
2 премоляра	2	0	0
1 премоляр	6	4	2
3 фронтальных зуба	1	0	1
2 фронтальных зуба	8	1	1
1 фронтальный зуб	5	5	4
Топография ПКМЗП	Число протезов		
Нижняя челюсть	9	3	3
Верхняя челюсть	12	4	2
Вид прикуса	Число пациентов		
Ортогнатический	13	4	3
Прогнатический	2	0	1
Вид опоры ПКМЗП	Число протезов		
С опорой на	11	4	3

<b>абатменты (винтовая фиксация)</b>			
<b>С опорой на зубы</b>	<b>Число протезов</b>		
<b>Депульпированные</b>	6	1	2
<b>Витальные</b>	4	2	0
<b>Цвет искусственных зубов</b>	<b>Число протезов</b>		
<i>A1</i>	8	5	0
<i>A2</i>	9	0	1
<i>A3</i>	4	2	4

Все клинические этапы протезирования проводили по общепринятой методике [21]. Фиксацию цельнокерамических мостовидных протезов на внутрикостные имплантаты проводили с помощью динамометрического ключа строго по инструкции, шахту имплантатов закрывали фторопластовой лентой и композитом. Фиксацию керамических мостовидных протезов на зубы осуществляли цементом Fuji 1 на депульпированные зубы и RelyX U200 - на витальные зубы. Мостовидные зубные протезы были изготовлены в зуботехнических лабораториях: Belgravia DentalLab (Москва) и Дент Сервис (Москва, Санкт-Петербург). Протезы из импортных материалов готовили строго по инструкции. Протезы из «Ziceram T» обжигали по оптимальной методике, разработанной в наших лабораторных исследованиях [20].

Данные оценки клинической эффективности ортопедического лечения монолитными мостовидными протезами из керамики “Ziceram T” (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия) представлены в таблице номер 3.3.3.

Таблица 3.3.3 - Клиническая оценка изученных монокоронных мостовидных протезов из керамики Zirconium (15 пациентов, 21-протезов)

	Категория	Оценка	Результат на контрольных осмотрах (Месяцы; Количество протезов)					
			1	3	6	12	18	24
1	<b>Прилегание коронок к опорным зубам или имплантатам</b>	0	21	21	21	21	21	21
		1	0	0	0	0	0	0
		2	0	0	0	0	0	0
2	<b>Состояние десневого края</b> (согласно индексу РМА)	0	21	20	20	19	19	18
		1	0	1	1	2	2	3
		2	0	0	0	0	0	0
3	<b>Цветовое соответствие</b> (визуально шкалой и с применением цифрового аппарата Easy Shade V)	0	21	21	21	21	21	21
		1	0	0	0	0	0	0
		2						
4	Качество поверхности (визуально и инструментально зондом после предварительного высушивания воздухом)	0	21					
		1	0					
		2	0					

5	Наличие сколов, трещин, дефектов поверхности (визуально и инструментально зондом и после окрашивания раствором Люголя)	0	21
		1	0
6	Ретенция протеза	0	21
		1	0

В течение двух лет проводили ежеквартальное динамическое наблюдение за пациентами первой группы, оценивая жалобы пациентов, целостность контуров керамических мостовидных протезов (визуально и с помощью окрашивания раствором Люголя) и сохранность блеска керамической поверхности. Сравнивали гигиеничность протезов, величину площади окрашенного микробного налета на опорных искусственных коронках и симметричных коронках естественных зубов.

Динамическое наблюдение в течение 2х лет первой группы с общим числом 15 пациентов с 21 мостовидным протезом общим числом 121 зубопротезная единица, фиксированных на внутрикостные имплантаты (11), депульпированные зубы (6) или витальные зубы (4), позволило выявить отсутствие жалоб пациентов, отсутствие каких-либо поломок, нарушений целостности протезов. У всех пациентов отсутствовали какие-либо аллергические реакции или неприятные ощущения. Цвет керамики не изменился, блеск был сохранен на всех мостовидных протезах. Количество зубного налета было одинаковым на керамических коронках и симметричных естественных зубах и, следовательно, зависело от гигиены полости рта пациента, а не от материала изготовленных мостовидных протезов.

Данные оценки клинической эффективности ортопедического лечения монолитными мостовидными протезами из керамики “ IPS e.max ZirCAD MT” (IvoclarVivadent, Лихтенштейн) представлены в таблице номер 3.3.4

Таблица 3.3.4 Клиническая оценка изученных монолитных мостовидных протезов из керамики IPS e.max ZirCAD MT (4 пациента, 7-протезов)

	Категория	Оценка	Результат на контрольных осмотрах (Месяцы;Количество протезов )					
			1	3	6	12	18	24
1	Прилегание коронок к опорным зубам или имплантатам	0	7	7	7	7	7	7
		1	0	0	0	0	0	0
		2	0	0	0	0	0	0
2	Состояние десневого края (согласно индексу РМА)	0	7	7	7	7	6	6
		1	0	0	0	0	1	1
		2	0	0	0	0	0	0
3	Цветовое соответствие (визуально шкалой и с применением цифрового аппарата Easy Shade V)	0	7	7	7	7	7	7
		1	0	0	0	0	0	0
		2						
4	Качество поверхности (визуально и инструментально)	0	7					
		1	0					

	зондом после предварительного высушивания воздухом)	2	0
5	Наличие сколов, трещин, дефектов поверхности (визуально и инструментально зондом и после окрашивания раствором Люголя)	0	7
		1	0
6	Ретенция протеза	0	7
		1	0

Ежеквартальное динамическое наблюдение в течение двух лет проводили за пациентами второй группы, с общим числом 4 пациента с 7 мостовидными протезами общим числом 54 зубопротезные единицы, фиксированных на внутрикостные имплантаты (4), депульпированные зубы (1) и витальные зубы (2) позволило выявить отсутствие жалоб пациентов, отсутствие каких-либо поломок, нарушений целостности протезов. У всех пациентов отсутствовали какие-либо аллергические реакции или неприятные ощущения. Цвет керамики не изменился, блеск был сохранен на всех мостовидных протезах. Количество зубного налета было одинаковым на керамических коронках и симметричных естественных зубах и, следовательно, зависело от гигиены полости рта пациента, а не от материала изготовленных мостовидных протезов.

Данные оценки клинической эффективности ортопедического лечения монолитными мостовидными протезами из керамики “Urcera ST” (Urcera, КНР) представлены в таблице номер 3.3.5

Таблица 3.3.5 - Клиническая оценка изученных монокоронных мостовидных протезов из керамики Ursera ST (4 пациента, 5-протезов)

	Категория	Оценка	Результат на контрольных осмотрах (Месяцы; Количество протезов)					
			1	3	6	12	18	24
1	<b>Прилегание коронок к опорным зубам или имплантатам</b>	0	5	5	5	5	5	5
		1	0	0	0	0	0	0
		2	0	0	0	0	0	0
2	<b>Состояние десневого края</b> (согласно индексу РМА)	0	5	5	5	4	5	4
		1	0	0	0	1	0	1
		2	0	0	0	0	0	0
3	<b>Цветовое соответствие</b> (визуально шкалой и с применением цифрового аппарата Easy Shade V)	0	5	5	5	5	5	5
		1	0	0	0	0	0	0
		2						
4	Качество поверхности (визуально и инструментально зондом после предварительного высушивания воздухом)	0	5					
		1	0					
		2	0					

5	Наличие сколов, трещин, дефектов поверхности (визуально и инструментально зондом и после окрашивания раствором Люголя)	0	5
		1	0
6	Ретенция протеза	0	5
		1	0

Ежеквартальное динамическое наблюдение в течение двух лет проводили за пациентами третьей группы, с общим числом 4 пациента с 5 мостовидными протезами общим числом 41 зубопротезная единица, фиксированных на внутрикостные имплантаты (3), депульпированных зубах(2) позволило выявить отсутствие жалоб пациентов, отсутствие каких-либо поломок, нарушений целостности протезов. У всех пациентов отсутствовали какие-либо аллергические реакции или неприятные ощущения. Цвет керамики не изменился, блеск был сохранен на всех мостовидных протезах. Количество зубного налета было одинаковым на керамических коронках и симметричных естественных зубах и, следовательно, зависело от гигиены полости рта пациента, а не от материала изготовленных мостовидных протезов.

2х летнее сравнительное исследование применения цельнокерамических мостовидных зубных протезов из диоксида циркония трех разных производителей «Ziceram T» (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия), IPS e.max ZirCAD MT (фирма Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн), Urcera ST (фирма Urcera, КНР) показало, что применение российских заготовок для фрезерования мостовидных зубных протезов из полупрозрачного диоксида циркония не уступает ни по прочности, ни по эстетичности, ни по гигиеничности зарубежным аналогам «Urcera ST» и «IPS

e.max ZirCAD MT». Результаты клинических исследований подтверждают правильность выбора режима спекания протезов из керамики «Ziceram T» при температуре 1550°C с выдержкой 2 часа, при скоростях нагрева и охлаждения 8°C /мин. Заготовки полупрозрачного диоксида циркония «Ziceram T» можно рекомендовать для функционально эстетического протезирования монокоронными мостовидными протезами с промежуточной частью до 3х фронтальных зубов или до 1 моляра с 1 премоляром.

В качестве примера приводим краткую выписку из истории болезни пациентки С. группа 1 с фотографиями на этапах лечения и контрольных осмотрах.

### Клинический пример

#### Ортопедическое лечение пациента из группы 1

Пациент С. года рождения (31 год) (рисунок 27)

**Жалобы:** затрудненное пережевывание пищи в связи с отсутствием зубов

Анамнез неотягощённый. Пациентка отрицает наличие у себя аллергии или перенесённых в детстве инфекционных заболеваний; считает себя практически здоровой (записано со слов пациентки).



Рисунок 27 - Пациент С. 31 год, группа 1: Фотографии лица

**Развитие настоящего заболевания:** 2 года назад был установлен “Мэрлинд-мост” на зубах 23-25, более 6 месяцев назад “Мэрлинд-мост” сломался. Последний раз обращалась к стоматологу за консультацией 3 месяца назад.

**При внеротовом осмотре:** Форма лица без видимых изменений, кожные покровы в норме. Увеличение региональных лимфатических узлов не выявлено. Рот

открывается полностью, болевые ощущения при открывании рта отсутствуют. При осмотре губ установлено следующее: красная кайма в норме, розовая, патологические изменения отсутствуют.

**При внутриротовом осмотре:** оценивали состояние структуры зубов (рисунок 28)



Рисунок 28 - Пациент С. 31 год, группа 1: внутриротовые фотографии перед началом лечения.

Зубная формула, определённая на основании внутриротового осмотра, представлена на рисунке 29. Прикус ортогнатический. Скученность зубов во фронтальном участке верхней и нижней челюсти. Феномен Попова Годона зубов 1.6 и 1.7.

Условные обозначения: О-отсутствует, R-корень, P-пульпит, Рт- периодонтит, П-пломба, А-пародонтоз, I, II, III(степень)-подвижность, К-коронка, И- искусственный зуб, Вк-вкладка	о	с/п	с/п								с	о	с/п	о	с	о
	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8
	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8
	о	о	о									п		о	с/п	о

Рисунок 29- Пациент С. 31 год, группа 1: зубная формула

Состояние слизистой оболочки полости рта, десен, альвеолярного отростка верхней челюсти, альвеолярной части нижней челюсти и неба: бледно-розового цвета, умеренно увлажнена.

**Объективно:** имеется скученность зубов. Феномен Попова-Годона зубов 1.6 и 1.7. Отсутствие зубов 2.4, 2.6, 3.6, 4.6, 4.7. Вторичный кариес на зубах 1.7, 1.6, 2.5, 3.7, кариес в области зубов 2.3, 2.7.

#### Диагноз:

Зубы 2.4, 2.6, 3.6, 4.6, 4.7 – Потеря зубов вследствие несчастного случая, удаления или локальной периодонтальной болезни (K08.1)

Зубы 1.7, 1.6, 2.3, 2.5, 2.7, 3.7 – кариес дентина (K02.1)

**План лечения:**

1. Профессиональная гигиена полости рта
2. Лечение кариеса зубов 2.3, 2.5, 2.7, 3.7 (рисунок 30)
3. Изготовление двух монокоронных мостовидных зубных протезов из диоксида циркония ZisceramT (Циркон Керамика, Санкт-Петербург) с опорами на зубы 2.3, 2.5, 2.7 и 3.4, 3.5, 3.7.
4. Установка двух имплантатов в проекции 4.6 и 4.7 с последующим изготовлением монокоронных коронок из диоксида циркония ZisceramT (Циркон Керамика, Санкт-Петербург)
5. Назначение на контрольные осмотры для наблюдения в динамике - спустя 1, 3, 6, 12, 18 и 24 после ортопедической реабилитации.

Пациентка С, ознакомившись с планом лечения, а также с целями обследования по теме диссертации, подписала форму информированного согласия на участие.

**Лечение:**

Пациентка была подвергнута профессиональному гигиеническому уходу за полостью рта, а затем, согласно плану, ей было проведено лечение кариеса зубов 2.3, 2.5, 2.7, 3.7

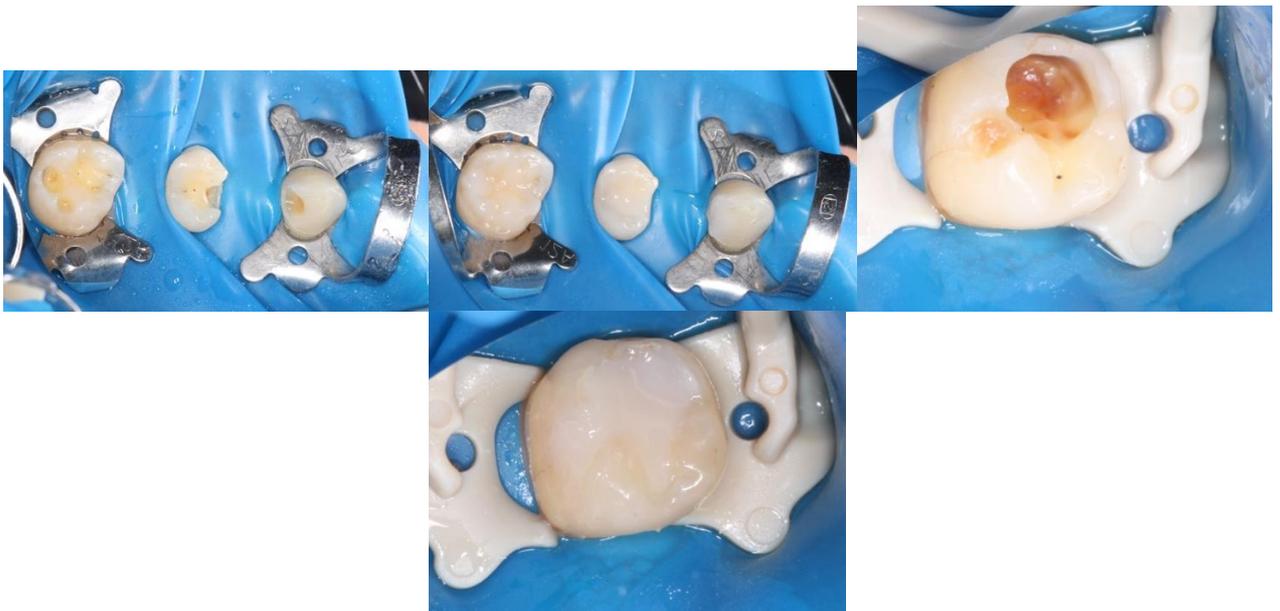


Рисунок 30 - Пациент С. 31 год, группа 1: Лечение кариеса зубов

Одонтопрепарирование зубов проводилось по традиционным принципам с помощью маркировочных боров. Объем снимаемых тканей составил в среднем 1.5 мм, в области бугров составил 2мм а в области уступа составил 1 мм (Рисунок 31)



Рисунок 31 - Пациент С. 31 год, группа 1: Одонтопрепарирование зубов

Расширение десневой борозды опорных зубов ретракционной нитью “Ultrapack” (Ultradent, США) пропитанной гемостатическим гелем “Viscostat”(Ultradent, США ) снятие одномоментных двухслойных оттисков зубов верхней и нижней челюстей, используя оттискные массы “BisicoS1 suhy ” и “ BisicoS4 Suhy ” (Bisico, Германия) (рисунок 32).

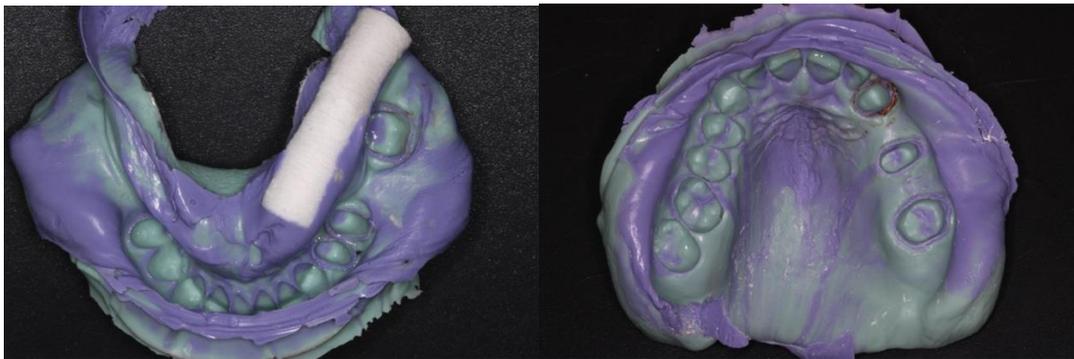


Рисунок 32 - Пациент С. 31 год, группа 1: Силиконовые оттиски

Характер смыкания зубов фиксировали силиконовыми регистратами “Occlufastrock” (Zhermack, Италия) (рисунок 33).



Рисунок 33 - Пациент С. 31 год, группа 1: Силиконовый регистрат

Определение цвета проводили цифровым методом аппаратом Easyshade V (VITAГермания) и аналоговым методом по стандартным расцветкам VITA Classic и VITA 3D Master (рисунок 34).



Рисунок 34 - Пациент С. 31 год, группа 1: Определение цвета аналоговым способом

В зуботехнической лаборатории изготавливали монолитные протезы на основе диоксида циркония “Zisceram T” (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия). Монолитные диоксидциркониевые протезы изготавливали по технологии CAD/CAM (рисунок 35). Технологический протокол состоял из нескольких этапов: вне ротового сканирования, оцифровка, виртуальное моделирование, фрезерование дисков на станке с ЧПУ, обжиг, нанесение красителей и глазурирование.

Сканирование проводилось с помощью 5-ти осевого сканера

InEos X5, который позволяет отсканировать работу с точностью 2,1 мкм. После получения цифровой модели проводилось компьютерное моделирование будущих конструкций в программе Exocad DentalCAD 3.0 Galway. Для

фрезерования использовали блок в форме диска 98,5\14 предокрашенный цвет А2. Фрезерование протезов проводилась на фрезерном станке Roland DWX-52D (Roland, Япония). Спекание протезов проводилась в соответствии с результатами наших экспериментальных исследований. Окрашивание проводилось красками Miyo liquid ceramicc помощью кисточки в один слой, затем спекание в соответствии с рекомендациями производителя, нанесение глазурной пасты In Sync Glaze Paste и спекание в соответствии с рекомендациями производителя.

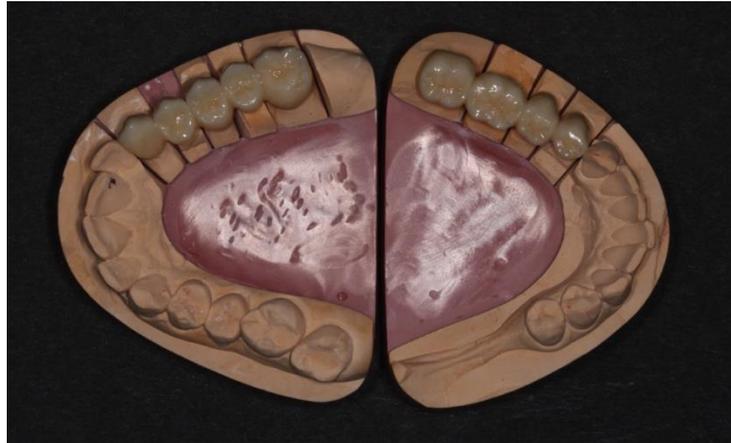


Рисунок 35 - Пациент С. 31 год, группа 1: Монолитные мостовидные зубные протезы полученные из лаборатории

После получения монолитных мостовидных протезов из диоксида циркония из лаборатории, проводился этап контроля периметра «перемычек» между коронками (рисунок 36).

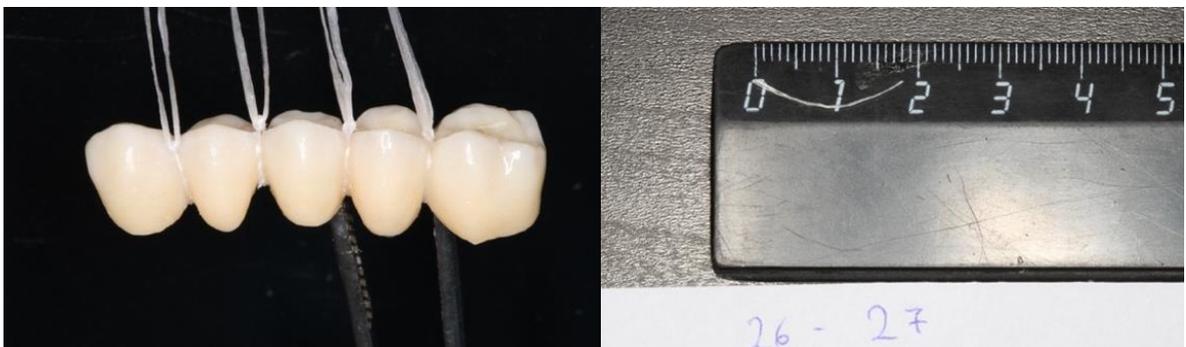


Рисунок 36 - Пациент С. 31 год, группа 1: Контроль периметра «перемычек» между коронками

Окклюзионные контакты оценивали с помощью артикуляционной бумаги (Bausch, Германия) листками разной толщины. Монолитные диоксидциркониевые протезы фиксировали цементом Relyx и 200 (3M Espe, США) (рисунок 37).



Рисунок 37. Пациент С. 31 год, группа 1: Зафиксированные протезы в полости рта.

На этапе контроля и профилактики у пациентки оценивали гигиеническое состояние полости рта и состояние установленных протезов; проверяли окклюзию; выполняли профессиональные мероприятия по гигиеническому уходу за полостью рта. Процедуры профессионального гигиенического ухода за полостью рта повторно проводили спустя 6, 18 и 24 месяца. На каждом из профилактических приемов, которые проводились через 1,3,6,12,18,24 месяца осуществлялся тщательный осмотр, фотографирование, окрашивание раствором Люголя протезов и своих зубов для оценки уровня гигиены и наличия или отсутствия трещин (рисунок 38).



Рисунок 38 - Пациент С. 31 год, группа 1: Окрашивание раствором Люголя (через 6 месяцев)

Качество контактных пунктов оценивали по характеру прохождения флосса. В таблице 3.3.6 проведена клиническая оценка качество лечения пациента С. 31 год, группа 1

Таблица 3.3.6 - Клиническая оценка качество лечения пациента С. 31 год, группа 1

	Категория	Оценка	Результат на контрольных осмотрах (Месяцы;Количество протезов )					
			1	3	6	12	18	24
1	<b>Прилегание коронок к опорным зубам или имплантатам</b>	0	1	1	1	1	1	1
		1	0	0	0	0	0	0
		2	0	0	0	0	0	0
2	<b>Состояние десневого края</b> (согласно индексу РМА)	0	1	1	1	0	1	0
		1	0	0	0	1	0	1
		2	0	0	0	0	0	0
3	<b>Цветовое соответствие</b> (визуально шкалой и с применением цифрового аппарата Easy Shade V)	0	0	0	0	0	0	0
		1	0	0	0	0	0	0
		2						
4	Качество поверхности (визуально и инструментально)	0	1					
		1	0					

	зондом после предварительного высушивания воздухом)	2	0
5	Наличие сколов, трещин, дефектов поверхности (визуально и инструментально зондом и после окрашивания раствором Люголя)	0	1
		1	0
6	Ретенция протеза	0	1
		1	0

## ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Возможность использования диоксида циркония для изготовления протяжённых конструкций или зубных протезов, устанавливаемых в боковые области зубного ряда, зависит, прежде всего, от физико-механических свойств данного материала. В соответствии с новой редакцией международного стандарта ИСО 6872-2015 (2018) предел прочности при изгибе должен быть  $\geq 500$  МПа для всех видов коронок и трёхзвенных мостовидных протезов любого расположения, зафиксированных любым методом и выбранным цементом, и  $\geq 800$  МПа для четырехзвенных конструкций любого расположения, зафиксированных любым методом и выбранным цементом.

Обычно производители материалов на основе диоксида циркония сообщают в рекламной информации о более высоких показателях прочности при изгибе по сравнению с данными по прочности, получаемыми в исследовательских лабораториях. Наше исследование не явилось исключением (таблица 2). Поэтому было интересно сравнить данные испытаний, проведённых в лаборатории материаловедения НМИЦ ЦНИИС и ЧЛХ МЗ РФ, с данными, полученными в исследовательских лабораториях зарубежных авторов. Для сравнения следовало найти такие публикации, в которых бы сообщалось об испытаниях аналогичных материалов такими же методами, как в лаборатории НМИЦ ЦНИИС и ЧЛХ МЗ РФ. К сожалению, не все испытания зарубежных авторов были проведены методом трехточечного изгиба, и на материалах, используемых в настоящем исследовании. Во многих исследованиях были применены другие методы оценки прочности, такие, как биосевой изгиб (Hjerpe J. и соавт. [2009], Ebeid K, и соавт [2014], Jansen и соавт. [2019], Luz J. и соавт. [2021]) [41, 52, 54, 69], четырехточечный изгиб (Catramby M и соавт. [2021]) [36], определение трещиностойкости (Borrell A. и соавт. [2012], Marinis A. и соавт. [2013]) [33, 73].

В ряде исследований сообщалось об испытаниях на прочность следующих керамических материалов на основе диоксида циркония: Ceramill ZI (Amann Girrbach) [101], ICE Zirkon (ZirkonZahn, Италия) [53], KaVo (KaVo Dental,

Гамбург) , Lava 3М (3 М Espe), Crystal HS (DLMS, Аризона, США) [73], Bruxzir (Glidewell, Франкфурт, Германия)[41], In-Coris ZI, In-Coris TZI (Sirona Dental Systems, Бенсхайм, Германия) [38, 44], Katana STML Block (Kuraray Noritake, Япония) [35, 38, 64], Prettau Anterior (Zirconzahn, Германия) [64], Zrex Smile (TOSOH, Япония) [64], Ceramill ZI, Ceramill Zolid и Ceramill Zolid HT+ (Amann Girbach, Австрия) [54], Zirco Ceram (Hanjin Dental, Корея) [65] и CEREC Zirconia (Dentsply Sirona, Германия) [38, 75]. Мы нашли только два сообщения об испытаниях на прочность при изгибе керамического материала IPS e.max ZirCAD, оцениваемого в настоящем исследовании [25, 36]. Анализ факторов влияния на механическую прочность диоксидциркониевой керамики, в частности, температуры спекания и длительности цикла обжига, свидетельствует о том, что проведение обжига в скоростной или традиционной печи, обычно не оказывает влияния на прочность изготовленных из неё реставраций. В отличие от этого, свойства используемых диоксидциркониевых заготовок достоверно влияют на прочность реставраций.

Almazdi A. и соавт. (2012) проводили испытания керамики IPS e.max ZirCAD методом трехточечного изгиба [25], Catramby M. и соавт. (2021) для оценки прочности использовали четырехточечный изгиб [36]. По данным Almazdi A. и соавт. (2012) прочность керамического материала IPS e.max ZirCAD В 40 после обжига в традиционной печи Sintramat (Ivoclar Vivadent) составила  $(1080 \pm 79)$  МПа [25]. Catramby M. и соавт. (2021) сообщили о прочности при изгибе керамического материала IPS e.max ZirCAD (партия М40496), составившей  $(1057 \pm 150)$  МПа после обжига в скоростной печи Cercon heat (Degu Dent, Гамбург). По нашим данным испытаний прочности керамического материала IPS e.max ZirCAD в лаборатории материаловедения НМИЦ ЦНИИС и ЧЛХ МЗ РФ, этот показатель был равен  $(953 \pm 96)$  МПа. Несмотря на небольшие различия между данными, полученными исследователями керамики IPS e.max ZirCAD, эти расхождения не были статистически достоверными. Более того, согласно международному стандарту ISO 6872-2015 требованием к прочности керамики класса 5, предназначенной для изготовления монолитных зубных

протезов из четырех и более единиц или полностью облицованных каркасов протезов из четырех и более единиц, является то, что она должна быть не менее 800 МПа. Данные, полученные всеми исследователями материала IPS e.max ZirCAD, заметно превышали это значение.

Что же касается прочности отечественного материала Ziceram T (Циркон Керамика, Санкт-Петербург) ( $863 \pm 112$  МПа), то этот показатель оказался несколько ниже, чем у материала IPS e.max ZirCAD, но тем не менее согласно стандарту ISO 6872-2015, был достаточным для изготовления монолитных мостовидных зубных протезов, устанавливаемых в передние и боковые отделы зубных рядов, что и подтвердили клинические испытания материала.

Также в ходе исследования было установлено, что для повышения получаемых значений прочности образцы следует полировать и формировать на них фаски, избавляющие от острых граней, которые могут быть концентраторами напряжения. Таким образом, тщательная полировка и заглаживание острых углов и граней позволит повысить механическую прочность реставрации и снизить риск переделки работы в результате перелома.

Результаты проведенного исследования показали, что прочность при трёхточечном изгибе изученных образцов из керамики на основе полупрозрачного диоксида циркония российского и зарубежного производства («Urcera ST», КНР -  $1010 \pm 101$  МПа; «IPS e-max ZirCAD MT», Лихтенштейн -  $953 \pm 96$  МПа; «Ziceram T», Россия -  $863 \pm 112$  МПа), согласно международному стандарту ISO 6872-2015, является достаточной для изготовления монолитных мостовидных зубных протезов в передних и боковых отделах зубных рядов.

Известно, что на прочность и эстетику, определяемую оптическими свойствами материала, влияет режим обжига. Неправильно выбранные параметры обжига могут стать причиной потери материалом механической прочности, ухудшения его оптических характеристик, и развития дефектов (трещин в структуре керамики, шероховатой поверхности, пузырения, раковин и пустот) [6].

Поэтому важной задачей было определение таких параметров окончательного обжига реставраций (температуры, времени выдержки, скорости

нагрева и охлаждения), при которых достигнутые результаты были бы оптимальными.

Влияние различных температур спекания и времени выдержки при конечной температуре на прочность при изгибе изучали Stawarczyk В. и соавт. (2013) [101], Ersoy N.M. и соавт. (2015) [44], Kaizer M.R. и соавт. (2019) [57], Jansen J. [54], Cardoso K. и соавт. (2020) [35] и LeeHa-Bin и соавт. (2020) [65].

Stawarczyk В. и соавт. (2013), изучавшие спекание материала Ceramill ZI в температурном интервале от 1300°C до 1700°C, отметили, что максимальной прочностью ( $1379,6 \pm 230$  МПа) образцы обладали после обжига при температуре 1500°C с выдержкой 120 мин. При дальнейшем повышении или снижении температуры обжига прочность образцов уменьшалась: при режиме 1700°C с выдержкой 120 мин прочность, определённая методом трехточечного изгиба, составила всего  $676,8 \pm 168$  МПа. Таким образом, режим обжига с конечной температурой 1500°C и выдержкой 120 мин был признан оптимальным для материала Ceramill ZI [101].

Ersoy N.M. и соавт. (2015) установили оптимальный режим обжига диоксидциркониевых реставраций из материалов In-Coris ZI и In-Coris TZI, после которого они приобретают максимальную прочность. Они рекомендуют проводить обжиг зубных протезов из указанных материалов до температуры 1580°C с 10-минутной выдержкой при конечной температуре [44].

Kaizer M.R. и соавт. (2019), исследовавшие материал In-Coris TZI, оценивали три режима обжига: 1580°C, выдержка 10 мин (режим SS); 1510°C, выдержка 25 мин (режим S); 1510°C, выдержка 120 мин (режим LT). Прочность образцов, оцениваемая методом трехточечного изгиба, составила  $904,3 \pm 115,7$  МПа;  $622,3 \pm 82,7$  МПа;  $579,7 \pm 130,6$  МПа, для режимов SS, S и LT, соответственно [57]. Оптимальным признан режим: 1580°C, выдержка 10 мин, что совпадает с данными Ersoy N.M. и соавт. (2015), изучавших тот же материал [44].

Интересны результаты исследования материалов Ceramill ZI, Ceramill Zolid и Ceramill Zolid HT+, проведённого Jansen J. и соавт. (2019). Эти авторы

оценивали прочность при би осевом изгибе образцов, спечённых при температурах 1450°C, 1570°C и 1590°C с 10-минутной выдержкой при конечной температуре. Для образцов из материала Ceramill ZI максимальные значения прочности были достигнуты после обжига при температуре 1570°C (1084 МПа), для материалов Ceramill Zolid и Ceramill Zolid HT+ при температурах 1450°C (1080 МПа), и 1590°C (1059 МПа), соответственно [54].

Cardoso К. и соавт. (2020) исследовали режимы обжига диоксидциркониевой керамики Prettau Anterior и влияние этих режимов на прочность, определённую методом трехточечного изгиба. Cardoso К. и соавт. (2020) выбрали два протокола обжига: 1450°C с выдержкой 120 мин и 1600°C с такой же выдержкой. После обжига прочность образцов, обожженных по первому протоколу, составила  $542,9 \pm 112,2$  МПа, а во втором случае –  $577,5 \pm 99,3$  МПа. Авторы отметили, что при повышении на 150°C температуры обжига материала менялся только размер зерен, однако, ни состав, ни концентрация кристаллической фазы не изменились [35].

Lee Ha-Bin и соавт. (2020) изучали влияние времени выдержки при конечной температуре в процессе обжига полуспечённых образцов из диоксида циркония Zirco Ceram на их прочность, определённую методом трехточечного изгиба. Образцы были подвергнуты спеканию при температуре 1550°C с трёхчасовой (стандартный протокол) или 60 минутной выдержкой (скоростной протокол). В первом случае продолжительность обжига составила 10 часов, во втором – три. Прочность образцов, обожжённых по стандартному протоколу, составила  $578,15 \pm 57,48$  МПа, а по скоростному –  $465,9 \pm 62,34$  МПа. Эта разница была признана статистически значимой. Оптимальным признан обжиг с трёхчасовой выдержкой при температуре 1550°C [65].

Анализ работ зарубежных авторов показал, что выбор скорости нагрева, конечной температуры обжига, выдержки при обжиге, скорости охлаждения, при которых будут достигнуты оптимальные свойства материала, в основном зависит

от свойств самого материала, поэтому для каждого материала режим обжига должен быть подобран индивидуально.

Нашей задачей был подбор оптимального режима обжига мостовидных зубных протезов из российских диоксидциркониевых заготовок «Ziceram T» производства ООО Циркон Керамика (С.-Петербург). Для выполнения этой задачи в лаборатории материаловедения НМИЦ ЦНИИС и ЧЛХ МЗ РФ были проведены серии обжигов образцов диоксидциркониевой керамики «Ziceram T» при разных температурах (1400°C, 1450°C, 1500°C, 1550°C, 1600°C) и с различными выдержками (60 мин, 90 мин, 120 мин) (Таблица 3.1.1).

Оптимальным был признан режим обжига, позволивший получить из диоксида циркония «Ziceram T» образцы с самыми высокими показателями прочности: температура 1550°C, выдержка при конечной температуре 120 мин, скорость нагрева и охлаждения 8°C/мин.

Этот режим был рекомендован к использованию в клинике для изготовления монолитных мостовидных зубных протезов из диоксида циркония “Ziceram T” (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия), опирающихся на зубы или на имплантаты.

Не меньшее значение, чем прочность, имеют оптические параметры материала, в частности, степень прозрачности (светопроницаемость) и характеристики цвета. Прозрачность (степень прозрачности) керамики на основе диоксида циркония зависит от коэффициента рассеяния (безразмерной физической величины, характеризующей способность материала рассеивать падающее на него излучение). В свою очередь, на количество рассеянного света влияют микроструктура и толщина керамики. Маскирующая способность керамики определяется ее прозрачностью [108].

На цвет монолитной керамической реставрации на основе диоксида циркония оказывает влияние много факторов. В первую очередь, это толщина и прозрачность керамики, за этим следуют цвет фиксирующего цемента и цвет опорного зуба или абатмента имплантата [35, 38, 57, 108].

Цветовые характеристики и прозрачность монолитных керамических реставраций на основе диоксида циркония изучали Kaizer M. и соавт. (2017) [57], Kim Hee-Kyung и Kim Sung-Hun (2017) [62], Lawson N. и Maharishi A. (2019) [64], Cokic S. и соавт. (2020) [38], Cardoso K. и соавт. (2020) [35].

Kaizer M. и соавт. (2017) показали, что протокол обжига влияет на прозрачность материала. Коронки, обожжённые по высокоскоростному режиму, оказались наиболее прозрачными [57].

Kim Hee-Kyung и Kim Sung-Hun (2017) оценивали цвет и прозрачность монолитной керамики на основе диоксида циркония в зависимости от толщины и параметров обжига. Они исследовали образцы квадратной формы (22 мм × 22 мм) и трех разных толщин (0,5 мм; 1,0 мм и 1,5 мм). Сравнивали обжиг в двух различных печах: традиционной, Conventional P310 (Nabertherm, Германия) и микроволновой, Sintermat 1600 (Unicera Inc., Корея). В первой печи образцы спекали до температуры 1500°C, общая длительность обжигового цикла составила 8 часов с двухчасовой выдержкой при максимальной температуре. Во второй печи эти параметры составляли 1500°C, 2 часа и 30 мин, соответственно. Установлено, что восприятие цвета человеком с нормальным зрением не зависит от того, в какой печи был проведён обжиг – традиционной или микроволновой. Метод обжига не влиял на степень прозрачности диоксидциркониевой керамики, однако толщина образца оказывала достоверное влияние на этот оптический параметр [62].

По данным Lawson N. и Maharishi A. (2019) уменьшение длительности обжига отрицательно влияет на степень прозрачности реставраций. Ухудшение прозрачности было объяснено недостаточно полным спеканием материала, в результате которого в структуре керамики сохранились остаточные поры. Известно, что поры являются препятствием на пути прохождения света, что приводит к снижению степени прозрачности образцов [64].

Cardoso K. и соавт. (2020) исследовали цветовые характеристики и прозрачность стабилизированного монолитного диоксида циркония с помощью компьютеризированного спектрофотометра CM 2600d (Konica, Minolta Sensing

Inc). Авторы определили, что температуре обжига не влияет на прозрачность, но влияет на цветовые различия  $\Delta E$  [35].

В отличие от других авторов, проводивших исследования на сложном оборудовании, Sokic S. и соавт. (2020) проводили свое исследование на простом спектрофотометре Spectro Shade TM MICRO. Результаты их исследования показали, что режим обжига влияет на показатели прозрачности одних материалов (CEREC Zirconia), однако не оказывает влияния на прозрачность других (Katana STML) [38].

Анализ работ зарубежных исследователей показал, что оптические характеристики монолитного диоксида циркония, в большей степени зависят от состава и структуры материала, и в меньшей – от изменения параметров обжига.

В нашем исследовании цветовые характеристики и маскирующая способность образцов из полупрозрачного диоксида циркония были изучены на спектроанализаторе «Спектрон М», установленном в лаборатории материаловедения ФГБУ НМИЦ, и спектрофотометре Easy Shade V (VITA Zahnfabrik, Германия). Для оценки цвета коронок использовали две шкалы расцветок – Vita Classic и 3D Master.

Мы изучали оптические свойства двух материалов – IPS e.max ZirCAD MT и «Zisceram T» цвета А2 производства ООО Циркон Керамика (С.-Петербург).

Маскирующую способность реставраций из монолитного диоксида циркония IPS e.max ZirCAD MT изучали на 6 видах коронок из керамики на основе полупрозрачного диоксида циркония “ IPS e.max ZirCAD MT” цвета А2 (Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн) с обработкой поверхности по одному из трёх вариантов: только фрезерованные и спеченные по рекомендуемому режиму, спеченные и глазурированные, спеченные и полированные. Оценивали коронки с толщиной вестибулярной стенки  $0,5 \pm 0,07$  мм или  $0,9 \pm 0,05$  мм.

Было наглядно показано, что при малой толщине коронки из полупрозрачного диоксида циркония цвет примерочной пасты существенно меняет цвет коронки. При толщине изученных керамических коронок из полупрозрачного диоксида циркония  $0,9 \pm 0,07$  мм независимо от обработки их

вестибулярной поверхности, материала абатмента и цвета примерочной пасты, цветовые параметры несъёмного протеза соответствовали цвету исходного образца. При толщине  $0,5 \pm 0,05$  мм картина была иной: цвет коронки, фиксированной на титановом абатменте, достоверно отличался от исходного по оттенку. Эти данные согласуются с результатами работы Kim Hee-Kyung и Kim Sung-Hun (2017) [62], определившими, что цветовые характеристики керамики на основе диоксида циркония, в частности, прозрачность, достоверно зависят от толщины образца, и в меньшей степени от других факторов. Также нами было установлено, что обработка поверхности коронки из керамики на основе полупрозрачного диоксида циркония существенно влияет на цветовые характеристики.

Для стоматологической практики можно рекомендовать следующее: вестибулярную стенку коронки необходимо формировать толщиной не менее 0,9 мм; в противном случае следует использовать не титановые абатменты, а абатменты из диоксидциркониевой керамики.

На спектроанализаторе «Спектрон М» были оценены степень прозрачности и цветовые характеристики образцов «Ziceram T» после их обжига при температурах  $1400^{\circ}\text{C}$ ,  $1450^{\circ}\text{C}$ ,  $1500^{\circ}\text{C}$  и  $1550^{\circ}\text{C}$  с выдержками при данной температуре 90 или 120 мин (таблица 3.2.3). Цвет образцов измеряли на белом и черном фоне и сравнивали между собой. Исследования на спектроанализаторе «Спектрон М» позволили установить, что при оптимальном режиме обжига ( $1550^{\circ}\text{C}$  - 2 часа) образцы имеют достоверно меньшую светлоту  $\langle L \rangle = 67.942 \pm 0.692$ , чем образцы, спеченные при температуре  $1600^{\circ}\text{C}$  ( $\langle L \rangle = 68.921 \pm 0.408$ ), что свидетельствует об их более высокой степени прозрачности. Согласно выводам Lawson N. и Maharishi A. (2019) [64], это можно объяснить большим числом дефектов у образцов, обожженных при температуре  $1600^{\circ}\text{C}$ , присутствие которых снижает не только прочность, но и светопропускаемость материала. Для эффективной маскировки цвета культи зуба или абатмента имплантата толщина стенки коронки должна быть более 0,9 мм.

Лабораторное изучение цветовых характеристик искусственных зубных коронок из полупрозрачного диоксида циркония показало, что при фиксации на титановый абатмент они обладают достаточной маскирующей способностью только при толщине не менее 0,9 мм.

Клиническим исследованиям монокоронных реставраций на основе диоксида циркония посвящены работы Tang Z. и соавт. (2019) [105], Bömicke W. и соавт. (2020) [32], Pontevedra P. и соавт. (2020) [88], El Kader Eid (2021) [43], Gseibat M. и соавт. (2022) [49].

Анализ этих работ показал, что выборка пациентов для проведения исследований находилась в пределах от 20 до 49 пациентов, монокоронные реставрации устанавливали как в передних, так и в боковых областях зубного ряда, средний возраст пациентов составлял от 32 до 72 лет, в основном, пациентов реабилитировали коронками, мостовидными протезами Мэриленд или несъемными протезами из трёх единиц [105, 32, 88, 43, 49].

Результаты наших клинических исследований основаны на ортопедическом лечении 23 пациентов в возрасте от 31 до 68 лет, что соответствует зарубежным данным [105, 32, 88, 43, 49] по выборке пациентов для проведения исследований и возрастному диапазону включенных пациентов. Всего нашим пациентам было изготовлено 33 диоксидциркониевых монокоронных керамических зубных протеза протяженностью от 3 до 14 единиц.

Из отечественного материала Ziceram T пациентам был установлен 21 протез (группа 1), из материала IPS e.max ZirCAD MT (группа 2) – 7 протезов, из материала Urcera ST (группа 3) – 5 протезов (таблица 3.3.2). Фиксацию керамических мостовидных протезов на внутрикостные имплантаты проводили с помощью динамометрического ключа строго по инструкции, на депульпированных зубах протезы фиксировали цементом Fuji 1, на витальных – цементом RelyX U200.

Протезы из ZiceramT обжигали по оптимальной методике, разработанной в наших лабораторных исследованиях. Были оценены следующие клинические параметры монокоронных мостовидных протезов из керамики Ziceram T (15

пациентов, 21 протез): прилегание коронок к опорным зубам или имплантатам; состояние дёсен в области зубов или имплантатов, соответствие выбранным расцветкам, шероховатость поверхности, присутствие поверхностных дефектов, в том числе сколов и трещин керамики, ретенционные свойства протеза.

В течение двух лет проводили ежеквартальное динамическое наблюдение за пациентами первой группы, оценивая жалобы пациентов, целостность контуров керамических мостовидных протезов (визуально и с помощью окрашивания раствором Люголя) и сохранность блеска керамической поверхности. Сравнивали гигиеничность протезов, величину площади окрашенного микробного налета на опорных искусственных коронках и симметричных коронках естественных зубов. При клиническом изучении монолитных мостовидных протезов из диоксидциркониевой керамики оценивали прилегание коронок к опорным зубам, состояние дёсен в области зубов или имплантатов, соответствие выбранным расцветкам, шероховатость поверхности, присутствие поверхностных дефектов, в том числе сколов и трещин керамики, ретенционные свойства протеза.

Прилегание коронок к опорным зубам или имплантатам оценивали по трехбалльной шкале (0 – плотное прилегание, 1 – клинически приемлемое, 2 – неприемлемый зазор). Прилегание всех без исключения реставраций из каждого изученного материала было оценено категорией 0 (плотное прилегание). Наши результаты в отношении прилегания реставраций соответствовали данным Bömicke W. и соавт. (2020) [32], Pontevedra P. и соавт. (2020) [88], Gseibat M. и соавт. (2022) [49], но превосходили результаты Tang Z. и соавт. (2019) [105].

Tang Z. и соавт. (2019), изучавшие 49 монолитных коронок из диоксидциркониевой керамики Zenostar Zr, отнесли прилегание 46 коронок к 0 (А) баллов по балльной шкале, а трех коронок – к 1 баллу (В) [105].

В нашем исследовании цветовое соответствие зубных протезов также оценивали по трехбалльной шкале (0 – нет отличий по цвету, 1 – клинически приемлемые отличия, 2 – неприемлемые отличия). У всех 33 протезов было достигнуто очень хорошее цветовое соответствие выбранным образцам расцветок по шкалам Vita Classic и 3DMaster (все реставрации соответствовали балльной

оценке 0). Эти результаты согласовались с данными исследователей [123, 105, 88], но оказались лучше данных, опубликованных Tang Z. и соавт. (2019) [105], сообщивших, что требуемый цвет реставраций достигнут только в 93,9% случаях (оценка 0 [A]), а в трех случаях цветовое соответствие отвечало оценке 1(B) (клинически приемлемые отличия). По остальным критериям (качество поверхности, наличие трещин и дефектов, ретенция протеза), за исключением состояния дёсен, результаты были оценены балльной категорией 0, что соответствовало данным Tang Z. и соавт. (2019) [105], Bömicke W. и соавт. (2020) [32], Pontevedra P. и соавт. (2020) [88], Gseibat M. и соавт. (2022) [49].

Что же касается состояния десневого края, оцениваемого по индексу РМА, то у большинства реставраций после двухлетнего периода наблюдения балльная оценка составила 0, однако были и пациенты, у которых состояние десневого края было оценено одним баллом: Ziceram T (3 из 21); Urcera ST (1 из 5) и IPS e.max ZirCAD MT (1 из 7). В отправной период состояние края десны было оценено баллом 0 у всех участников. Pontevedra P. и соавт. (2020), напротив, сообщили, что после двухлетнего периода наблюдения десневой индекс и индекс зубного налета были лучшими, чем в отправной срок [105, 32, 88,43, 49]. Также следует отметить, что количество зубного налета было одинаковым на керамических коронках и симметричных естественных зубах и, следовательно, зависело от гигиены полости рта пациента, а не от материала изготовленных мостовидных протезов.

Полученные нами данные клинических исследований монокристаллических реставраций на основе диоксида циркония, в частности из отечественного материала Ziceram T, хорошо согласовались с данными зарубежных исследователей [105, 32, 88, 43, 49], а в некоторых случаях даже превосходили их. Мостовидные протезы из отечественного материала Ziceram T не уступали зарубежным аналогам Urcera ST и IPSe.max ZirCAD MT ни по прочности, ни по эстетичности, ни по гигиеничности. Результаты клинических исследований подтвердили правильность

выбора режима спекания протезов из керамики «Ziceram T» при температуре 1550°C с выдержкой 2 часа, при скоростях нагрева и охлаждения 8°C /мин.

В целом, проведенное нами исследование вносит существенный вклад в реализацию программы импортозамещения важных для населения медицинских материалов (стоматологической керамики на основе диоксида циркония «Ziceram T») для ортопедического лечения пациентов монолитными мостовидными зубными протезами с опорами на зубы или внутрикостные имплантаты. Разработанная оптимальная методика обжига протезов из российских заготовок «Ziceram T» позволяет получать образцы гарантированно высокой прочности, достаточной (по стандарту ИСО 6872-2015) для изготовления мостовидных зубных протезов в любой клинически показанной области зубных рядов. Полученные в нашем многостороннем лабораторном и клиническом исследовании результаты соответствуют методическим подходам и основным результатам аналогичных зарубежных работ.

## ВЫВОДЫ

1. Прочность при трёхточечном изгибе образцов зубных протезов из керамики на основе полупрозрачного диоксида циркония российского и зарубежного производства («Urcera ST», КНР -  $1010 \pm$  МПа; «IPS e.max ZirCAD MT», Лихтенштейн -  $953 \pm$  МПа; «Ziceram T», Россия -  $863 \pm$  МПа) значительно уступает прочности каркасной диоксидциркониевой керамике (более 1200 МПа) , но достаточна, согласно международному стандарту ISO 6872-2015, для изготовления монолитных мостовидных зубных протезов в передней и боковых отделах зубных рядов.
2. Параметры окончательного обжига (температура и время выдержки) разнонаправлено влияют на показатели прочности образцов из полупрозрачного диоксида циркония. Оптимальным режимом спекания образцов мостовидных зубных протезов из российских заготовок диоксида циркония «Ziceram T» является температура  $1550^{\circ}\text{C}$  с выдержкой 120 мин при скорости нагрева и охлаждения  $8^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ .
3. Лабораторное изучение параметров цвета искусственных зубных коронок из полупрозрачного диоксида циркония показало, что при фиксации на титановый абатмент они обладают достаточной маскировочной способностью только при толщине не менее 0,9 мм.
4. Двухлетнее клиническое применение монолитных мостовидных зубных протезов из диоксида циркония трех разных производителей «Ziceram T» (Циркон Керамика, Санкт-Петербург, Россия) , «IPS e.max ZirCAD MT» (Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн), «Urcera ST» (Urcera , КНР) показало, что применение российских заготовок для фрезерования мостовидных зубных протезов из полупрозрачного диоксида циркония не уступает ни по стойкости в полости рта, ни по эстетичности, ни по гигиеничности зарубежным аналогам. Клинически подтверждена эффективность разработанного режима спекания протезов из керамики «Ziceram T»

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Керамические заготовки на основе полупрозрачного диоксида циркония российского производства «Zisceram T» (фирма Циркон Керамика, Санкт-Петербург) рекомендуем применять во всех случаях при наличии показаний к протезированию цельнокерамическими монолитными мостовидными зубными протезами.
2. При протезировании мостовидными зубными протезами с опорой на титановые абатменты или темные культи зубов для получения выбранного цвета протеза в соответствии с эталоном расцветки толщина стенки коронки из полупрозрачного диоксида циркония должна быть не менее 0,9 мм.
3. Окончательный обжиг мостовидных зубных протезов из российских заготовок «Zisceram T» на основе полупрозрачного диоксида циркония рекомендуем проводить при скоростях нагрева и охлаждения 8°C/мин, спекание при 1550°C с выдержкой 2 часа.
4. При ортопедическом лечении монолитными мостовидными зубными протезами из российских заготовок полупрозрачного диоксида циркония «Zisceram T» целесообразно проводить контроль размерных параметров зон сочленения элементов протеза, соблюдая общепринятые минимальные площади сочленения 9 мм<sup>2</sup> для трехзвеньевое мостовидного протеза и 14 мм<sup>2</sup> для четырехзвеньевое мостовидного протеза, клинически определяя периметр соответствующей зоны с помощью флосса, соответственно 10 мм и 13 мм.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Абакаров С.И., Баландина А.С., Сорокин Д.В., Аджиев Л.С., Абакарова С.С., Арутюнов Д.С. CAD/CAM-системы в стоматологии // учебное пособие, ФГБОУ ДПО РМАНПО, 2016 – 96 с.
2. Брагин Е.А., Воложин А.И., Бабахин А.А, Дубова Л.В., Сорокин Д.А. Аллергия к металлам, используемым для зубного протезирования, и методы ее диагностики. // «Стоматология». – 2004. - №5. - с. 57-61.
3. Гветадзе Р.Ш., Дьяконенко Е.Е., Лебеденко И.Ю. Исследования старения, усталости и деградации с целью повышения надежности стоматологической цирконовой керамики. Обзор статей в мировых журналах // Стоматология, 2016; 95(6), с. 51 – 60
4. Гожая Л.Д. Заболевания слизистой оболочки полости рта, обусловленные материалами зубных протезов: (этиология, патогенез, диагностика, лечение, профилактика): автореф. дис. ... д-ра мед.наук / Л. Д. Гожая. - Москва, 2001., 22 с.
5. Дубова Л.В., Воложин А.И., Лебеденко И.Ю. Непереносимость металлических зубных протезов. //Актуальные вопросы стоматологии. Тезисы докладов научно-практической конференции, посвящённой 100-летию В.Ю. Курляндского. –М., – 2008. – С.73-77.
6. Дьяконенко Е.Е. Обжиг – важнейший этап изготовления металлокерамического протеза, часть I, Краткая характеристика спеченных материалов. Процессы, происходящие при обжиге стоматологической керамики. Технические проблемы, связанные с неправильным ведением обжига. // “Новое в стоматологии”, № 4, 2001, 3-11.
7. Дьяконенко Е.Е., Лебеденко И.Ю. Сравнительная оценка монолитных и облицованных зубных протезов на основе диоксида циркония (часть 1) //Цифровая стоматология №1 (6), 2017, 58-68
8. Дьяконенко Е.Е., Лебеденко И.Ю. Эстетика монолитных зубных протезов на основе диоксида циркония. // “Зубной техник”, №3 (128), 2018, 22-32
9. Инструкция для пользователей керамики ZirCAD //IvoclarVivadent, 2017

10. Курляндский В.Ю. Ортопедическая стоматология. - М.: Медицина, 1977.
11. Лебеденко И.Ю. Современные отечественные материалы для безметалловых зубных протезов // Стоматология, 2017, № 1, 60 - 62
12. Лебеденко И.Ю., Перегудов А.Б., Вафин С.М. Компьютерные реставрационные технологии в стоматологии. Реальность и перспективы. // Панорама ортопед.стоматологии. - 2000. - № 2. - С. 40-45.
13. Лебеденко И.Ю., Ретинская М.В. Вураки Н.К. CEREC: новые горизонты //Кафедра, 2014, № 48, стр. 40 – 41
14. Ллака Э., Дьяконенко Е.Е., Аксельрод И.Б., Сахабиева Д.А., Русанов Ф.С., Лебеденко И.Ю. Факторы, влияющие на прочность керамики на основе диоксида циркония // “Зубной техник”, 2021, №3, 63-65
15. Ллака Э., Дьяконенко Е.Е., Лебеденко И.Ю., Сахабиева Д.А. Прозрачная керамика на основе диоксида циркония для изготовления монолитных реставраций. Часть 1. // Стоматология, 2020; 99(5), с. 111 – 115
16. Назарян Р.Г. Сравнительная оценка эффективности ортопедического лечения мостовидными протезами из монолитного или облицованного диоксида циркония // дисс. на соискание степени к.м.н., Москва, 2016. - с. 16-19.
17. Олесова В.Н., Бронштейн Д.А., Узунян Н.А., Заславский Р.С., Лернер А.Я., Шматов К.В. Биомеханика несъемного протеза на имплантатах при полном отсутствии зубов на верхней челюсти// стоматология. 2018. Т. 97. № 6. С. 53-56.
18. Рогожников А.Г., Порозова С.Е., Гилева О.С., Шулятникова О.А., Вохмянин Д.С., Горячев П.С. «Физико-механические исследования наномодифицированной диоксидциркониевой керамики для изготовления зубных протезов» // Пермь: ГБОУ ВПО ПГМУ им.академика Е.А. Вагнера Минздрава РФ, 2016. – 60 с.
19. Ряховский А.Н. Цифровая стоматология. // М., 2010. 282 с.
20. Сахабиева Д, А. Ллака Э., Влияние режимов обжига стоматологической оксидциркониевой керамики на цветовые характеристики и показатели прочности. В кн: Актуальные вопросы в стоматологии: Всероссийская межвузовская научно-практическая конференция молодых ученых с международным участием., Москва 27 мая 2021 года. Москва: ЦГМА, 2021, 30.

21. Хван В.И. Оксид Циркония. // В кн.: Ортопедическая стоматология. Национальное руководство. Под ред. Лебедево И.Ю., Арутюнова С.Д., Ряховского А.Н. М.: ГЭОТАР-Медия; 2022.
22. Хегенбарт Э.А. Вопросы и ответы по теме: оксид циркония // DentalLab. - 2002. - С. 7 -11.
23. Цаликова Н.А. Компьютерные технологии в ортопедической стоматологии // Владикавказский медико-биологический вестник, 2013, том 16, № 24-25, 98-103
24. Aboushelib MN, Dozic A, Liem JK. Influence of framework color and layering technique on the final color of zirconia veneered restorations.//Quintessence Int. 2010 May;41(5):e84-9.
25. Almazdi A., Khajah H., Monaco E. Jr., Kim H. Applying microwave technology to sintering dental zirconia. // J Prosthet Dent, 2012; 108:304-309
26. Amberg Kay, Amberg Knut. Virtual construction of an implant bridge successfully computerized! // Spectrum dialogue, 2013, v. 12, No.9, 34-39
27. Antón X., Stawarczyk B., Reymus M., Joda T., Liebermann A. Impact of high-speed sintering on accuracy and fit of 4 mol% yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystals (4Y-TZPs) // Int. J. Prosthodont., 2021, Feb 12. Online ahead of print (Интернет публикация перед печатью в журнале), doi: 10.11607/ijp.7428
28. Augusti Davide, Augusti Gabriele, Borgonovo Andrea, Amato Massimo, Dino Re. Inlay-Retained Fixed Dental Prosthesis: A Clinical Option Using Monolithic Zirconia // Case Reports in Dentistry, Volume 2014, Article ID 629786, 1 – 7
29. Ban S, Sato H, Suchiro Y, Nakanishi H, Nawa M. 2008. 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. // J. Biomed. Mater. Res. B Appl Biomater. 87(2):492–498.
30. Bertrand P., Bayle F., Smurov I. Yttria-zirconia components manufacturing for biomedical applications by SLS technology // Conference: ICALEO® 2007, 26th International Congress on Laser Materials Processing, Laser Microprocessing and Nanomanufacturing, 2007.

31. Beuer, F., Schweiger, J., Eichberger, M., Kappert, H.F., Gernet, W., Edelhoff, D. High-strength CAD/CAM-fabricated veneering material sintered to zirconia copings - A new fabrication mode for all-ceramic restorations. // *Dent Mater*, 2009, 25:121-128.
32. Bömicke W., Rathmann F., Pilz M., Bermejo J., Waldecker M., Ohlmann B., Rammelsberg P., Zenthöfer A. Clinical performance of posterior inlay-retained and wing-retained monolithic zirconia resin-bonded fixed partial dentures: stage one results of a randomized controlled trial // *J. Prosthodont.*, 2020, 30 (5), 384-393.
33. Borrell A., Salvador M., Penaranda-Foix F., Cátala-Civera J. Microwave Sintering of Zirconia Materials: Mechanical and Microstructural Properties // *Int. J. Appl. Ceram. Technol.*, 2012, P.1–8
34. Cales, B. Colored zirconia ceramics for dental applications. // *Bioceramics*, 1998, 11:591-594.
35. Cardoso K., Adabo G., Antonio S., Filho J. Mariscal-Muñoz E., Effect of sintering temperature on microstructure, flexural strength, and optical properties of a fully stabilized monolithic zirconia // *J Prosthet Dent*, 2020; 124 (5):594-598
36. Catramby M., do Vale A., Dos Santos H., Elias C. Effect of sintering process on microstructure, 4-point flexural strength, and grain size of yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal zirconia for use in monolithic dental restorations // *Research and education*, 2021, v. 125 (5), 824-828, DOI: 10.1016/j.prosdent.2021.01.022
37. Chen Z., Li Z., Li J., Liu C., Lao C., Fu Y., Liu Ch., Li Y., Wang P., He Y. 3D printing of ceramics: A review. // *J. of the European Ceramic Society*, 2019, 39, 661–687
38. Cokic S., Vleugels J., Van Meerbeek B., Camargo B., Willems E., Li M., Zhang F. Mechanical properties, aging stability and translucency of speed-sintered zirconia for chairside restorations // *Dental Materials Journal* 2020; 36, P. 959–972
39. de Kok P, Kleverlaan CJ, de Jager N, Kuijs R, Feilzer AJ. Mechanical performance of implant-supported posterior crowns. // *J Prosthet Dent*. 2015 Jul;114(1):59-66.
40. Ebadzadeh T., Valefi M. Review Microwave-assisted sintering of zircon // *Journal of Alloys and Compounds*, 2008, 448, 246–249

41. Ebeid K., Willea S., Hamdyb A., Salahb T., El-Etrebyb A., Kerna M. Effect of changes in sintering parameters on monolithic translucent zirconia // *Dent Mater* 2014; 30: 419-424.
42. Ebert, J.; Özkol, E.; Zeichner, A.; Uibel, K.; Weiss, Ö.; Koops, U.; Telle, R.; Fischer, H. Direct inkjet printing of dental prostheses made of zirconia. // *J. Dent. Res.* 2009, 88, 673–676.
43. El Kader Eid. One Year Clinical Evaluation of Shade Matching and Patient Satisfaction of New Gradient Technology Monolithic Zirconia (5Y-TZP\3Y-TZP) Compared to Lithium Disilicate Crowns in Dental Esthetic Zone // по материалам интернет-сайта <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT04738526>
44. Ersoy N.M., Aydogdu H.M., Degirmenci B.U., Cokuk N., Sevimay M. The effects of sintering temperature and duration on the flexural strength and grain size of zirconia. // *Acta Biomater Odontol Scand*, 2015, 1, P. 43-50.
45. Galante, R., Figueiredo-Pina, C. G., Serro, A. P. Additive manufacturing of ceramics for dental applications: A review. // *Dent. Mater.* 2019, 35, 825– 846.
46. Ghodsi S., Jafarian Z.. A review on translucent zirconia // *European Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry*, 2018, 26, 62–74
47. Gracis S., Van P. Thompson, Jonathan L. Ferencz, Nelson R.F.A. Silva, Estevam A. Bonfante. A new classification system for all-ceramic and ceramic-like restorative materials. // *The International Journal of Prosthodontics*, 2015, Volume 28, Number 3., p. 226-236.
48. Grohmann P, Bindl A, Hämmerle C, Mehl A, Sailer I. 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 Int.* 2015 Nov-Dec;46(10):871-80.
49. Gseibat M., Sevilla P., Lopez-Suarez C., Rodríguez V., Pelaez J., Suarez M. Prospective Clinical Evaluation of Posterior Third-Generation Monolithic Zirconia Crowns Fabricated with Complete Digital Workflow: Two-Year Follow-Up // *Materials* 2022, 15(2), 672; <https://doi.org/10.3390/ma15020672>

50. Guess PC, Att W, Strub JR. Zirconia in fixed implant prosthodontics//Clin Implant Dent Relat Res. 2012 Oct;14(5):633-45.
51. Heintze S.D., Cavalleri A., Forjanic M., Zellweger G., Rousson V. Wear of ceramic and antagonist—a systematic evaluation of influencing factors in vitro. // DentMater, 2008, 24:433–449.
52. Hjerppe J., Vallittu P., Fröberg K., Lassila L. Effect of sintering time on biaxial strength of zirconium dioxide // Dental Materials Journal, 2009; 25, P. 166–171
53. Hjerppe, J., Narhi, T., Froberg, K., Vallittu, P.K., Lassila, L.V. Effect of shading the zirconia framework on biaxial strength and surface microhardness. //Acta Odontol Scand, 2008, 66:262-267.
54. Jansen J., Lümckemann N., Letz I., Pfefferle R., Sener B., Stawarczyk B. Impact of high-speed sintering on translucency, phase content, grain sizes, and flexural strength of 3Y-TZP and 4Y-TZP zirconia materials // J. Prosth. Dent. – 2019. – Vol. 122, № 4. – P. 396 – 403.
55. Jaroslow B. Which Type of Heating Elements in Sintering Furnaces is Better?// по материалам интернет-сайта <https://info.whipmix.com/which-type-of-heating-elements-in-sintering-furnaces-is-better>
56. Jikihara A.N., Tanaka C.B., Meira J.B.C. Why thick zirconia-veneers are more prone to chipping? // J. Dent. Mat., 2014, v. 30, Supplement 1, e 33.
57. Kaizer M.R., Gierthmuehlen P.C., Dos Santos M.B., Cava S.S., Zhang Y. Speed sintering translucent zirconia for chairside one-visit dental restorations: optical, mechanical, and wear characteristics. // Ceram Int 43, 2017, P. 999-1005.
58. Kaur I., Datta K. CEREC – The power of technology // J. of Indian Prosthodontic Society, 2006, 6, 115 - 119
59. Kaya, G. Production and characterization of self-colored dental zirconia blocks. // Ceram Int, 2013, 39:511-517.
60. Khaledi A., Vojdani M., Farzin M., Pirouzi S., Orandi S. The effect of sintering time on the marginal fit of zirconia copings // J Prosthodont. 2019 Jan;28(1): e285-e289. doi: 10.1111/jopr.12731.

61. Khanlar L., Rios A., Tahmaseb A., Zandinejad A. Additive Manufacturing of Zirconia Ceramic and Its Application in Clinical Dentistry: A Review // *Dent. J.*, 2021, 9, 104
62. Kim Hee-Kyung, Kim Sung-Hun. Comparison of the optical properties of precolored dental monolithic zirconia ceramics sintered in a conventional furnace versus a microwave oven // *J AdvProsthodont* 2017; 9: 394-401 [doi.org/10.4047/jap.2017.9.5.394](https://doi.org/10.4047/jap.2017.9.5.394)
63. Kuroda S., Shinya Akikazu, Yokoyama D., Gomi H., Shinya Akiyoshi. Effects of coloring agents applied during sintering on bending strength and hardness of zirconia ceramics // *Dental Materials Journal* 2013; 32(5): 793–800
64. Lawson N., Maharishi A. Strength and translucency of zirconia after high-speed sintering // *J Esthet Restor Dent.*, 2019. – P. 1–7.
65. Lee Ha-Bin, Lee Tae-Hee, Kim Ji-Hwan. The effect of short and long duration sintering method on microstructure and flexural strength of zirconia // *Journal of the Korean Dental Society*, Vol. 42, No. 2, 2020: 73-79
66. Lian, Q.; Sui, W.; Wu, X.; Yang, F.; Yang, S. Additive manufacturing of ZrO<sub>2</sub> ceramic dental bridges by stereolithography. // *Rapid Prototyp. J.* 2018, 24, 114–119.
67. Long H. Monolithic Zirconia Crowns and Bridges. // *Inside Dentistry*, 2012, Volume 8, Issue 1.
68. Lopez-Suarez C, Gonzalo E, Pelaez J, Serrano B, Suarez MJ. Marginal Vertical Discrepancies of Monolithic and Veneered Zirconia and Metal-Ceramic Three-Unit Posterior Fixed Dental Prostheses. // *Int J Prosthodont.* 2016 May-Jun;29(3):256-258.
69. Luz J., Kaizer M., Ramos N., Thompson V., Anami L., Saavedra G., Zhang Y. Novel speed sintered zirconia by microwave technology. // *Dent Mater.* 2021, 37(5): 875- 878, DOI: 10.1016/j.dental.2021.02.026
70. Madfa A., Al-Sanabani F., Al-Qudami N., Al-Sanabani J., Amran A. Use of Zirconia in Dentistry: An Overview // *The Open Biomaterials Journal*, 2014, 5, 1-9
71. Mainjot A.K., G.S. Schajer, A.J. Vanheusden, M.J. Sadoun. Influence of veneer thickness on residual stresses in zirconia prostheses // *J. Dent. Mat.* 2010;24 (4): 471–475

72. Manziuc M., Gasparik C., Negucioiu M., Constantiniuc M., Burde A., Vlas I., Dudea D. Optical properties of translucent zirconia: A review of the literature // *EuroBiotech J.*, 2019, v.3 (1), 45 – 51.
73. Marinis A., Aquilino S., Lund P., Gratton D., Stanford C., Diaz-Arnold A., Qian F. Fracture toughness of yttria-stabilized zirconia sintered in conventional and microwave ovens // *J Prosthet Dent* 2013;109:165-171
74. Matsuzaki F., Sekine H., Honma S., Takanahashi T., Furuya K., Yajima Y., Yoshinari M. Translucency and flexural strength of monolithic translucent zirconia and porcelain-layered zirconia // *Dental Materials J.*, 2015; 34(6): 910–917
75. Mckinley S., Wen L., Francisco G., Kraig V. Effect of High-Speed Sintering on the Properties of Zirconia-Oxide Materials // *Gen. Dent.*, 2019, 676 (5): 30 - 34
76. McLaren E., White S. Glass-Infiltrated Zirconia/Alumina based Ceramic for Crowns and Fixed Partial Dentures: Clinical and Laboratory Guidelines // *QDT*, 2000; 23, p.63-75.
77. Methani M., Revilla-León M., Zandinejad A. The potential of additive manufacturing technologies and their processing parameters for the fabrication of all-ceramic crowns: A review // *J Esthet Restor Dent.*, 2019;1–11.
78. Miyazaki T., Nakamura T., Matsumura H., Ban S., Kobayashi T. Current status of zirconia restoration // *J. of Prosthodontic Research*, 2013, 57, 236–261
79. Mohamed M., Abdel Kader S., Aboushady Y., Abdel El-latif M. Biaxial Strength of Un-Shaded and Shaded Monolithic Zirconia // *Alexandria Dental Journal.* (2018) Vol.43 Pages: 69-73
80. Moscovitch M., Keren H. Understanding zirconia as restorative material // *Spectrum dialogue*, 2010, v. 9, No. 3, 50-58
81. Mrazek B. The right CAD/CAM system for a one person lab // *Spectrum dialogue*, 2010, v. 9, No. 8, 70-81
82. Naji G.A., Omar R., Yahya R. An overview of the development and strengthening of all-ceramic dental materials // *Biomed Pharmacol J.*, 2018, 11 (3), 1553-1563

83. Nakai, H.; Inokoshi, M.; Nozaki, K.; Komatsu, K.; Kamijo, S.; Liu, H.; Shimizubata, M.; Minakuchi, S.; Van Meerbeek, B.; Vleugels, J.; et al. Additively manufactured zirconia for dental applications. // *Materials* 2021, 14, 3694.
84. Nakamura T., Nakano Y., Usami H., Okamura S., Wakabayashi K., Yatani H. In vitro investigation of fracture load and aging resistance of high-speed sintered monolithic tooth-borne zirconia crowns. // *J. Prosthodont. Res*, 2019;61: 1–6.
85. Øilo Marit, Anne D Hardang, Amanda H Ulsund, and Nils R Gjerdet Fractographic features of glass-ceramic and zirconia-based dental restorations fractured during clinical function // *Eur J Oral Sci*. 2014 Jun; 122(3): 238–244.
86. Pekkan G., Pekkan K., Bayindir B., Özcan M., Rarasu B. Factors affecting the translucency of monolithic zirconia ceramics: A review from materials science perspective. // *Dent Mater.*, 2019, 38 (9), 1-8.
87. Pohling J. Advanced development of Cercon smart ceramics, Cercon art 3.1 // *Spectrum dialogue*, 2012, v. 11, No. 1, 53-54
88. Pontevedra P., Lopez-Suarez C., Pelaez J., Garcia-Serdio S., Suarez M., Prospective Clinical Evaluation of Posterior Monolithic Zirconia Fixed Partial Dentures Using a Complete Digital Worklow: Two-Year Follow-Up // *J. Prosthodont.*, 2021, 30 (4), 298-304
89. Revilla-León M., Husain N., Ceballos L., Özcan M. Flexural strength and Weibull characteristics of stereolithography additive manufactured versus milled zirconia // *J. Prosthet. Dent.*, 2021, 125 (4), 685 – 690.
90. Rinke S, Buegers R, Ziebolz D, Roediger M. Clinical outcome of double crown-retained implant overdentures with zirconia primary crowns.// *J Adv Prosthodont*. 2015 Aug;7(4):329-337.
91. Rinke S, Fischer C. Range of indications for translucent zirconia modifications: clinical and technical aspects.// *Quintessence Int*. 2013;44(8):557-66
92. Sabrah A., Cook N., Luangruangrong P., Hara A., Bottino M. Full-contour Y-TZP ceramic surface roughness effect on synthetic hydroxyapatite wear. // *Dent Mater*, 2013, 29:666–673.

93. Sax C, Hämmerle CH, Sailer I. 10-year clinical outcomes of fixed dental prostheses with zirconia frameworks. // *Int J Comput Dent*. 2011;14(3):183-202.
94. Sekar M., Sujatha V., Babu R., Mohan A. Zirconia as a bioceramic material // *IJRD*, 2014, Issue 1, 1 - 7
95. Seydler B, Schmitter M. Clinical performance of two different CAD/CAM-fabricated ceramic crowns: 2-Year results. // *J Prosthet Dent*. 2015 Aug;114(2):212-216.
96. Shah, K., Holloway, J.A., Denry, I.L. Effect of coloring with various metal oxides on the microstructure, color, and flexural strength of 3Y-TZP // *J Biomed Mater Res B*, 2008, *Appl Biomater* 87:329-337.
97. Shoji K., Cases of Multi-Layered Zirconia Restorations with High Translucency // *Spectrum dialogue*, 2019, v. 18, No.7, 20-37
98. Shoji K., Cases of Multi-Layered Zirconia Restorations with High Translucency // *Spectrum dialogue*, 2019, v. 18, No.7, 20-37
99. Smaniotto Paolo. A new design for devices in Zirconia – Ceramic partially stratified, part 2. // *Spectrum dialogue*, v. 13, № 4, 2014, 20 – 31.
100. Song Shi-Xue, Wang Z., Shi Guo-Pu Heating mechanism of spark plasma sintering. // *Ceramics International* 39, 2013, P. 1393–1396
101. Stawarczyk B, Özcan M, Hallmann L, Ender A, Mehl A, Hammerlet Ch. The effect of zirconia sintering temperature on flexural strength, grain size, and contrast ratio. // *Clin Oral Invest.*, 2013; 17 – 269 –274.
102. Strub J.R., Rekow E.D., Witkowski S. Computer-aided design and fabrication of dental restorations: current systems and future possibilities. // *Journal of American Dental Association*, 2006. - 137. - p. 1289–1296.
103. Sulaiman T., Abdulmajeed A., Donovan T., Vallittu P., Narni T., Lassila L. The effect of staining and vacuum sintering on optical and mechanical properties of partially and fully stabilized monolithic zirconia // *Dental Materials Journal* 2015; 34(5): 605–610
104. Suominen J., Frankberg E., Vallittu P., Levänen E., Vihinen J., Vastamäki T., Kari R., Lassila L. Three-dimensional printing of zirconia: characterization of early-stage

material properties //Acta biomaterialia odontologica scandinavica, 2019, v. 6, № 1, 23–31

105. Tang Z., Zhao X., Wang H., Liu B. Clinical evaluation of monolithic zirconia crowns for posterior teeth restorations // Medicine Baltimor , 2019, 40 – 98.

106. Upadhyaya DD, Ghosh A, Dey GK, Prasad R, Suri AK. Microwave sintering of zirconia ceramics. // J Material Sci., 2001, 36, P. 4707-4710

107. Van Noort R. The future of dental devices is digital // Dent Mater, 2012; 28, 3–12

108. Vichi A., Carraba M., Paravina R., Ferrari M. Translucency of Ceramic Materials for CEREC CAD/CAM System // Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, 2014, 26 (4), 1-8.

109. Wattanasirmit K, Srimaneepong V, Kanchanatawewat K, Monmaturapoj N, Thunyakitpisal P, Jinawath S. Improving shear bond strength between feldspathic porcelain and zirconia substructure with lithium disilicate glass-ceramic liner. //Dent Mater J. 2015;34(3):302-9.

110. Wiedenmann F., Pfefferle R., Jerman E., Stawarczyk B. Impact of high-speed sintering, layer thickness and artificial aging on the fracture load and two-body wear of zirconia crowns // Dent Mater. 2020, 36(7): 1- 8, DOI:[10.1016/j.dental.2020.04.004](https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.04.004)

111. Zarone F, Russo S, Sorrentino R. From porcelain-fused-to-metal to zirconia: Clinical and experimental considerations. // Dent Mater 2011; 27: 83-96.

112. Zhang H., Kim B., Morita K., Yoshida H., Hiraga K., Zhang Y. Effect of sintering temperature on optical properties and microstructure of translucent zirconia prepared by high-pressure spark plasma sintering // Sci. Technol. Adv. Mater. 12, 2011, P. 2 - 6

113. Zhang L, Luo XP. Effect of veneering technologies on color and translucency of Y2O3 stabilized tetragonalzirconia polycrystals all-ceramic restorations.//Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi. 2008 Mar;43(3):178-81.

114. Zhang Y. Making yttria-stabilized tetragonal zirconia translucent // Dent Mater., 2014, 30 (10), 1195-1203

115. Zhang Y., Lawn B. Novel Zirconia Materials in Dentistry // J. Dent. Res., 2017, 10, 1 – 8

116. По материалам интернет ресурса [http://3d.globatek.ru/world3d/additive\\_tech/](http://3d.globatek.ru/world3d/additive_tech/)

117. По материалам интернет ресурса <http://info.whipmix.com/3-things-to-consider-when-coloring-full-contour-zirconia>
118. По материалам интернет ресурса <https://dent-mall.ru/magazin/folder/dioksid-tsirkoniya-ziceram-tz-belogo-tsveta>
119. По материалам интернет ресурса [https://shop.stomatorg.ru/news/procurement\\_of\\_zirconia\\_ziceram\\_a\\_breakthrough\\_in\\_cosmetic\\_dentistry/](https://shop.stomatorg.ru/news/procurement_of_zirconia_ziceram_a_breakthrough_in_cosmetic_dentistry/)
120. По материалам интернет ресурса [www.ivoclar.com/ru\\_ru/products/digital-processes/ips-e.max-zircad](http://www.ivoclar.com/ru_ru/products/digital-processes/ips-e.max-zircad)
121. По материалам интернет ресурса [www.upcera-dental.com/](http://www.upcera-dental.com/)
122. По материалам интернет ресурса [zirconceramics.ru](http://zirconceramics.ru)
123. По материалам интернет-сайта [vita-zahnfabrik.com](http://vita-zahnfabrik.com)