

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Российский университет дружбы народов»

*На правах рукописи*

**Исмаилов Фарух Рустамбекович**

**КЛИНИКО-ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ  
МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНДОДОНТИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ**

3.1.7. Стоматология

Диссертация  
на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:  
**Хабадзе Зураб Суликоевич,**  
кандидат медицинских наук, доцент

Москва – 2023

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ .....	14
1.1. Распространенность осложнений кариеса зубов .....	14
1.2. Современный аналитический взгляд на металлургические особенности никель-титановых инструментов.....	15
1.3. Современные взгляды на инструментальную и медикаментозную обработку корневых каналов .....	21
1.4. Современный взгляд на ирригацию корневых каналов .....	28
1.5. Концептуальные основы силеров и филлеров для корневых каналов ....	33
1.6. Актуальные методы пломбирования корневых каналов .....	44
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	51
2.1. Лабораторное исследование эффективности применения различных сольвентов и ирригационных растворов при эндодонтическом лечении .....	51
2.1.1. Изучение растворяющего действия различных сольвентов .....	51
2.1.2. Определение коэффициента поверхностного натяжения различных сольвентов и ирригационных растворов.....	53
2.1.3. Изучение моющей активности ирригационных растворов .....	54
2.1.4. Изучение эффективности различных способов распломбировки корневых каналов зубов, ранее запломбированных с использованием гуттаперчи .....	55
2.2. Лабораторное изучение износостойкости никель-титановых инструментов .....	57
2.2.1. Изучение циклической усталости никель-титановых инструментов ...	57
2.2.2. Рентгеноспектральный анализ никель-титановых инструментов до и после циклической нагрузки .....	60
2.2.3. Сканирующая электронная микроскопия поверхности поперечных отломов никель-титановых инструментов .....	61

2.2.4. Капиллярная дефектоскопия поверхности никель-титановых инструментов .....	62
2.3. Клинико-лабораторное изучение эффективности гибридного способа пломбирования корневых каналов зубов.....	63
2.3.1. Лабораторное изучение эффективности гибридного способа пломбирования корневых каналов зубов.....	63
2.3.2. Изучение клинической эффективности гибридного способа пломбирования корневых каналов зубов при лечении пульпита .....	68
2.4. Статистическая обработка результатов исследования.....	75
<b>ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>75</b>
3.1. Результаты лабораторных исследований по изучению эффективности применения различных сольвентов и ирригационных растворов при эндодонтическом лечении .....	76
3.1.1. Результаты изучения растворяющего действия различных сольвентов .....	76
3.1.2. Результаты определения коэффициента поверхностного натяжения различных сольвентов и ирригационных растворов .....	80
3.1.3. Результаты изучения моющей активности ирригационных растворов	85
3.1.4. Результаты изучения эффективности различных способов распломбировки корневых каналов зубов, ранее запломбированных с использованием гуттаперчи .....	87
3.2. Результаты лабораторного изучения износостойкости никель-титановых инструментов .....	90
3.2.1. Результаты изучения циклической усталости никель-титановых инструментов .....	90
3.2.2. Результаты рентгеноспектрального анализа никель-титановых инструментов до и после циклической нагрузки.....	95
3.2.3. Результаты сканирующей электронной микроскопии поверхности поперечных отломов никель-титановых инструментов.....	103

3.2.4. Результаты капиллярной дефектоскопии поверхности никель-титановых инструментов .....	108
3.3. Результаты клинико-лабораторного изучения эффективности гибридного способа пломбирования корневых каналов зубов .....	110
3.3.1. Результаты лабораторного изучения эффективности гибридного способа пломбирования корневых каналов зубов .....	110
3.3.2. Результаты изучения клинической эффективности гибридного способа пломбирования корневых каналов зубов при лечении пульпита .....	115
ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ .....	119
ВЫВОДЫ .....	132
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ .....	134
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	136

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность темы исследования

Повышение эффективности лечения осложнений кариеса зубов остается актуальной проблемой современной стоматологии (Кукушкин В. Л., 2014; Куратов И. А. и соавт., 2015; Лукиных Г. И., и соавт., 2016). Распространённость таких заболеваний как пульпит и периодонтит среди взрослого населения составляет от 51% до 93% (Боровский Е. В., 2004; Савина А. П., 2013; Ясникова Е. Я., 2008). Неудачное эндодонтическое лечение является причиной ранней потери зубов, что ведет к ухудшению качества жизни больного (Герасимова Л. П. и соавт., 2014; Триголос Н. Н. и соавт., 2015; Шайымбетова А. Р., 2017). Таким образом, решение данной проблемы имеет не только высокую медицинскую, но и социальную значимость (Блашков С. Л. и соавт., 2015; Шашмурина В. Р. и соавт., 2018).

Считается, что при первичном эндодонтическом лечении прогноз эффективности является более благоприятным, чем при повторном (Yang N. Y. и соавт., 2018; Триголос Н. Н. и соавт., 2015; Иорданишвили А. К., 2015).

Эндодонтическое лечение включает в себя механическую и медикаментозную обработку, а также качественную obturацию корневых каналов зубов (Адамчик А. А., 2016; Байназарова Н. Т., 2017; Горбунова И. Л., 2015; Дмитриева Л. А., 2013; Макеева И. М., 2017). Механическая инструментальная обработка, в сочетании с использованием ирригационных растворов, позволяет очистить систему корневых каналов и подготовить их к obturации (Sholder X., 1974).

При эндодонтическом лечении необходимо учитывать сложности анатомического строения корневых каналов зубов. Во время инструментальной обработки корневых каналов следует избегать отлома эндодонтических инструментов, что может серьезно осложнить лечение, так как осколки инструмента препятствуют полноценной ирригации и obturации корневых каналов (Алпатова В. Г., 2009). Попытки извлечения осколков инструмента небезопасны и часто приводят к появлению ленточных перфораций, истончают дентин корня, что повышает вероят-

ность вертикального перелома корня зуба (Gao Y с соавт., 2010; Gutmann J. L., 2012).

Важной задачей при проведении эндодонтического лечения является удаление микробной биопленки со стенок корневых каналов зубов, что не всегда бывает эффективным при использовании традиционных способов доставки ирригационных растворов в систему корневого канала (Батюков Н. М., 2014; Березин К. А., 2013). Потребность в повышении эффективности дезинфекции корневых каналов зубов, за счет разработки новых систем подачи и перемешивания ирригантов, обуславливает актуальность данного исследования.

Завершающим этапом эндодонтического лечения является obturация корневых каналов (Cohen S., Burns R. 2007; Erstavik, 2005). По данным литературы, некачественная obturация корневых каналов и нарушение корневого герметизма приводит к рецидиву и прогрессированию воспалительного процесса (Григорян А.С., 2000; Максимовский Ю. М., 2006). В связи с этим, совершенствование способов obturации корневых каналов, обеспечивающих надежную герметизацию, также является актуальной проблемой, решение которой способствует повышению эффективности эндодонтического лечения.

### **Степень разработанности темы исследования**

Эндодонтическое лечение не всегда бывает эффективным, что приводит к необходимости проведения повторного эндодонтического лечения, одним из главных этапов которого является распломбировка ранее запломбированных корневых каналов. Для удаления филлера и силера из корневого канала используются сольвенты. Не токсичными сольвентами являются сольвенты на основе эфирных масел. Однако, на сегодняшний день, нет данных о сравнительной эффективности растворяющей способности различных эфирных масел.

Важным этапом при эндодонтическом лечении является ирригация корневых каналов. Проведены обширные исследования, посвященные антибактериальной эффективности различных ирригационных растворов. Однако, вопросы моющей активности

этих растворов освещены, на сегодняшний день, недостаточно.

В настоящее время в эндодонтической практике широко используются никель-титановые инструменты. Технические характеристики, которые предоставляют производители, не всегда соответствуют истине, а выбор инструмента врачом происходит часто под давлением агрессивного маркетинга. Это обуславливает необходимость проведения научного исследования износостойкости различных никель-титановых инструментов.

В настоящее время существуют различные способы obturации корневых каналов зубов, основными из которых являются способы латеральной и вертикальной конденсации. К сожалению, лечение не всегда дает положительный результат из-за нарушения апикального герметизма. В связи с этим актуальным является разработка более совершенных способов obturации корневых каналов зубов.

### **Цель исследования**

Цель исследования – повышение эффективности эндодонтического лечения за счёт оптимизации протокола инструментальной обработки, ирригации системы корневых каналов и их obturации.

### **Задачи исследования**

1. С помощью экспериментального исследования изучить растворяющую способность различных эфирных масел в отношении силера на основе эпоксидной смолы и гуттаперчевого филлера.
2. Определить коэффициент поверхностного натяжения различных ирригационных растворов и оценить их моющую активность по отношению к масляному раствору в эксперименте.
3. Изучить износостойкость различных никель-титановых инструментов и возможность ранней диагностики угрозы отлома инструмента.

4. Изучить эффективность гибридного способа пломбирования корневых каналов зубов.

### **Научная новизна исследования**

Впервые в эксперименте изучена растворяющая способность сольвентов на основе различных эфирных масел.

Впервые в экспериментальном исследовании проведено сравнение коэффициента поверхностного натяжения и моющей активности мицеллярной воды и растворов гипохлорита натрия разной концентрации.

С помощью экспериментального исследования изучена эффективность различных способов распломбировки корневых каналов зубов.

Впервые изучена износостойкость различных никель-титановых инструментов к циклической нагрузке, с использованием разработанного симуляционного блока, который имеет вариации конфигураций каналов в соответствии с международной классификацией корневых каналов Vertucci.

С помощью рентгеноспектрального анализа и сканирующей электронной микроскопии, уточнены данные о влиянии циклической нагрузки на изменение элементного состава и структуры поверхности никель-титановых инструментов.

Впервые предложено использовать капиллярную дефектоскопию как метод определения признаков, позволяющих определить зону предполагаемого отлома никель-титановых инструментов.

С помощью сканирующей электронной микроскопии доказано высокое качество апикального герметизма при пломбировании корневых каналов зубов гибридным способом.

Доказана высокая клиническая эффективность гибридного способа пломбирования корневых каналов зубов при лечении необратимых форм пульпита.

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



С помощью экспериментального исследования изучена растворяющая способность различных эфирных масел, используемых в качестве сольвентов, в отношении силера на основе эпоксидной смолы и гуттаперчевого филлера.

Определены коэффициенты поверхностного натяжения различных ирригационных растворов, применяемых при эндодонтическом лечении.

В эксперименте проведено сравнение моющей активности мицеллярной воды и растворов гипохлорита натрия разной концентрации в отношении грейпфрутового эфирного масла. Установлена связь между коэффициентом поверхностного натяжения и моющей активностью ирригационного раствора.

Разработан симуляционный блок, который имеет вариации конфигураций каналов в соответствии с международной классификацией корневых каналов Vertucci, для изучения устойчивости эндодонтических инструментов к циклической нагрузке.

Разработана и лабораторно апробирована методика оценки циклической усталости никель-титановых инструментов.

Уточнены данные о влиянии циклической нагрузки на изменение элементного состава и структуры поверхности никель-титановых инструментов.

Предложена методика обнаружения признаков будущего перелома никель-титанового инструмента с помощью капиллярной дефектоскопии.

Детально описана и применена при лечении необратимых форм пульпита методика ирригации корневых каналов с использованием универсальной автономной системы подачи ирригационной жидкости в корневой канал во время эндодонтического лечения и разработанной съёмной насадкой для медикаментозной обработки корневого канала, что оптимизировало традиционный способ доставки ирриганта в сложную систему корневых каналов (Патент №211836 от 27.06.2022, Патент № 210678 от 26.04.2022).

Разработан и внедрен в клиническую практику при лечении необратимых форм пульпита гибридный способ obturation корневых каналов зубов.

Результаты диссертационного исследования позволяют расширить арсенал средств, применяемых в эндодонтии, и оптимизировать процесс эндодонтического лечения.

### **Методология и методы диссертационного исследования**

Диссертация выполнена в соответствии с принципами и правилами доказательной медицины. Результаты диссертационной работы доказаны на обширном экспериментальном и клиническом материале. С помощью экспериментальных исследований доказаны высокая растворяющая эффективность сольвента на основе грейпфрутового эфирного масла, высокая моющая активность мицеллярной воды и 1% раствора гипохлорита натрия, подогретого до 45<sup>0</sup> С, эффективность различных способов распломбировки корневых каналов зубов; изучена износостойкость, изменение элементного состава и структуры поверхности различных никель-титановых инструментов под действием циклической нагрузки, эффективность различных способов obturации корневых каналов зубов.

С помощью клинического исследования доказана высокая эффективность гибридного способа пломбирования корневых каналов зубов при лечении необратимых форм пульпита.

В работе использованы современные методики сбора и обработки исходной информации с применением современных статистических программ.

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

Грейпфрутовое эфирное масло обладает более выраженным растворяющим действием в отношении гуттаперчевого филлера по сравнению с другими эфирными маслами.

Наибольшей моющей активностью в отношении масляной пленки обладает мицеллярная вода и 1% раствор гипохлорита натрия, нагретый до 45<sup>0</sup> С.

Наибольшей износостойкостью к циклическим нагрузкам обладают инструменты мартенситной фазы S-flexi, за исключением S-flexi 04/20. Капиллярная дефектоскопия позволяет определить ранние признаки возникающего отлома инструмента.

Применение гибридного способа пломбирования корневых каналов зубов способствует более качественной obturации корневых каналов и повышает эффективность лечения необратимых форм пульпита.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

Достоверность полученных результатов подтверждается достаточным количеством экспериментальных и клинических наблюдений, использованием современных, адекватных методов исследования.

Материалы исследования доложены на конференциях: «Стоматология: наука и практика, перспективы развития», посвященная 100-летию со дня рождения профессора Е. А. Магида (г. Волгоград, 14 октября 2021 г.); VIII Всероссийская научная конференция молодых ученых и студентов с международным участием VolgaMedScience (г. Нижний Новгород, 17–18 марта 2022 г.); 76-я Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых «Достижение фундаментальной, прикладной медицины и фармации» (г. Самарканд, Узбекистан, 20–21 мая 2022 г.).

Апробация проведена на межкафедральном заседании кафедры терапевтической стоматологии и кафедры стоматологии детского возраста и ортодонтии МИ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» (протокол № 7 от 29.06.2022).

### **Внедрение результатов исследования**

Результаты диссертационной работы внедрены в лечебную практику клиники ООО «Ваш личный доктор» и в лекционные материалы, практические и семинар-

ские занятия студентов кафедры терапевтической стоматологии Медицинского института Российского университета дружбы народов в рамках дисциплины «Эндодонтия», а также ординаторов и аспирантов по направлению «Стоматология».

### **Личный вклад автора в выполнение работы**

Автором разработан дизайн и алгоритм исследования. Самостоятельно проведен анализ современной отечественной и зарубежной литературы по теме исследования, патентный поиск, проведено обследование и лечение 162 пациентов с необратимыми формами пульпита. Автор принимал непосредственное участие в проведении экспериментов и подготовке образцов для исследования. Совместно с З. С. Хабдзе разрабатывал: 1) Способ повторного эндодонтического лечения (патент на изобретения №2610210 от 08.02.2017); 2) Съёмную насадку для медикаментозной обработки корневого канала (патент на полезную модель № 210678 от 26.04.2022); 3) Устройство для ирригации корневых каналов (патент на полезную модель № 211836 от 27.04.2022). Автор выполнил лично в полном объеме статистическую обработку, полученных в ходе исследования данных, оформление и иллюстрацию диссертационной работы.

### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности**

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 3.1.7. Стоматология, отрасли наук: медицинские науки, а также областям исследования согласно пунктам 1, 8, 9 паспорта специальности «Стоматология».

### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 15 печатных работ, в том числе 9 – в журналах Перечня РУДН/ВАК, 2 – в журналах, входящих в международные реферативные базы данных (Scopus, WOS), 3 патента РФ, 1 тезисы конференций.

### **Объем и структура работы**

Работа изложена на 161 страницах компьютерного текста (Time New Roman 14) и состоит из введения, обзора литературы, главы «Материалы и методы исследования», главы «Результаты собственных исследований», главы «Обсуждение результатов», выводов, практических рекомендаций, списка литературы. Список цитируемой литературы включает 265 источников, из которых 53 – на русском языке, 212 – на иностранных языках. Работа иллюстрирована 22 таблицами и 37 рисунками.

## ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### 1.1. Распространенность осложнений кариеса зубов

Эффективность лечения осложнений кариеса зубов (в частности, пульпита и периодонтита) остается актуальной проблемой современной стоматологии ввиду широкой распространенности данной патологии [112, 240]. Так, частота осложнений кариеса среди взрослого населения составляет от 51% до 90–93% [138]. Осложнения кариеса и его неудачное лечение являются причиной ранней потери зубов, что определяет большую медицинскую и социальную значимость этой темы [8]. Ранняя потеря зубов может привести к ухудшению качества жизни пациента [6].

Считается, что при первичном эндодонтическом лечении прогноз эффективности является более благоприятным, чем при повторном

К важнейшим условиям успешного эндодонтического лечения относят: тщательное выполнение этапа очистки, формирование и obturация корневого канала. Очистка и формирование канала дает возможность для проникновения ирригационного раствора и удаления дебриса, а также обеспечивает подготовку полости зуба для obturации. Однако использование инструментов более крупного размера уменьшает толщину дентина, увеличивая вероятность вертикального перелома корня [122]. Перелом корня является одним из самых тревожных осложнений при лечении корневых каналов. Устойчивость к разрушению эндодонтически обработанных корней может быть связана с несколькими факторами, включая тип материала для пломбирования каналов, объем остаточного дентина и процедуру ирригации [150]. Считается, что комбинация и процентный состав ирригационных растворов играют существенную роль на этом этапе [4, 121]. Нагрузка на зуб в многокорневых каналах распределяется по фуркации, а в однокорневых зубах – по устьевой части зуба.

Расширение корневого канала инструментами системой Protaper значительно снижает объем остаточного дентина и повышает вероятность трещины корня, в

то время как расширение апикальной области корневого канала ручными инструментами большого размера от 45–70 сохраняет такую вероятность минимальной [94, 175]. Считается, что корни с тонкими стенками дентина более склонны к разрушению из-за отсутствия адекватной структурной поддержки [235]. Также было высказано предположение, что при низком объеме остаточного дентина, адгезия пломбирочных материалов к дентину снижается [37]. Ранее сообщалось, что успешная адгезия к дентину корня повышает устойчивость корней к перелому. Кроме того, переломы возникают в основном в устьевой и средней части корней с более тонким слоем остаточного дентина [94]. Риск перелома увеличивается и при использовании ирригационных растворов. Для устойчивости к перелому при ирригации толщина слоя остаточного дентина должна составлять 2,25 мм [243].

## **1.2. Современный аналитический взгляд на металлургические особенности никель-титановых инструментов**

Нитинол – это интерметаллид, используемый для изготовления эндодонтических инструментов и состоящий из 56% никеля и 44% титана. В некоторых случаях может быть использован 2%-й кобальт. Полученная комбинация имеет соотношение атомов основных компонентов 1 : 1 и поэтому называется эквиатомной. К таким сплавам относится и 55-Нитинол.

Поверхность инструментов из никель-титанового сплава покрыта оксидной пленкой, которая состоит из титана ( $TiO_2$ ) и меньшего количества оксидов никеля ( $NiO$  и  $Ni_2O_3$ ) и металлического никеля ( $Ni$ ). Толщина оксидного слоя колеблется в пределах 2–20 нм. Химический состав инструмента и количество  $Ni$  может изменяться в широком диапазоне в зависимости от способа обработки нитинола. Из-за нестойкости оксида никеля, никель растворяется легче, чем титан.

При механической полировке поверхности проволоки из нитинола было обнаружено соотношение  $Ti : Ni: 1 : 5$  [50]. При кипячении и автоклавировании про-

волоки нитинола концентрация Ni снижалась, а соотношение Ti : Ni увеличивалось до 23,4–33,1% [49].

Замена инструментов из нержавеющей стали на нитинол в стоматологической практике обусловлена хорошей прочностью при более низком модуле упругости последнего [51]. Сплав нитинола обладает такими особенностями, как сверхгибкость, память формы и коррозионная стойкость [237].

Сверхгибкость – способность восстанавливать свою первоначальную форму после снятия нагрузки без проявления остаточной деформации. Механические свойства нитинола изменяются с изменением кристаллической структуры. Температурная или механическая нагрузки приводит к фазовому переходу из аустенита в мартенсит и обратно. Эти две фазы, существующие в разных физических средах, имеют разные типы кристаллической решетки и отличаются по механическим и электрическим свойствам. Сплав полностью сохраняет аустенитную фазу при температуре выше 100 °С, которая характеризуется высокой прочностью и высоким электрическим сопротивлением. Мартенситная фаза наблюдается при температуре ниже 100 °С; в этой фазе проявляется нестабильная структура, низкая прочность и низкое электрическое сопротивление [237].

Эффект памяти формы – способность сплава полностью восстанавливать свою первоначальную форму при нагреве выше температуры превращения мартенсита в аустенит. Температура превращения отличается в зависимости от химического состава сплава. Эффект памяти формы впервые был описан Эландером при оценке кадмий-золотого сплава [53].

Коррозионная стойкость проявляется биоинертностью в организме человека, что способствует использованию материала в изготовлении имплантатов. Благодаря этой особенности, в случае отлома инструмента в канале или выведения в периодонт, осколок инструмента не инициирует воспаление [27, 30].

Инструментальная обработка каналов проводится ручным и/или машинным способами. Машинная обработка существенно ускоряет и повышает качество механической обработки в сравнении с ручным способом. Несмотря на значительные преимущества машинных никель-титановых инструментов, перелом по-



прежнему остается заметной проблемой. К причинам перелома никель-титановых машинных файлов относят торсионную нагрузку и циклическую усталость.

Торсионная нагрузка на инструмент – это момент вращения, превышающий его прочностные характеристики при заклинивании инструмента в канале [26].

Циклическая усталость – это попеременное сжатие и растяжение во время вращения инструмента в искривленном корневом канале. Для повышения эффективности и безопасности ротационных файлов используются различные методы обработки: механическая, электрополировочная, термическая, электрочардная [26, 28].

В зависимости от обработки никель-титановых файлов можно выделить несколько поколений машинных файлов (Таблица 1).

Таблица 1 – Поколения машинных файлов

<i>Поколение</i>	<i>NiTi файлы</i>
Обычные NiTi без обработки (Аустенитный сплав). С 1992 г.	Profile, LightSpeed NiTi, GT, Quantec NiTi, K3, Protaper Universal, Mtwo.
Электрохимическая полировка. С 1999 г.	EndoSequence, BioRaCe, Race, One Shape, Hyflex (EDM)
Термическая обработка (M-wire). С 2007 г.	ProTaper NEXT, ProFile Vortex
Термическая обработка (R-phase). С 2008 г.	K3XF, Twisted File
Термическая обработка (CM-wire). С 2010 г.	Hyflex, ProDesign R и ProDesign Logic, Typhoon Infinite Flex, V-Taper 2H, Hyflex (EDM)
Термическая обработка (CM blue). С 2012 г.	Vortex Blue, Sequence Rotary File, X1 Blue File, Reciproc Blue, ProTaper Gold
Термическая обработка (Max wire). С 2015 г.	XP-endo
Термическая обработка (T-wire)	One Shape, 2Shape
Термическая обработка (C-wire)	One Curve

Никель-титановый сплав с аустенитной фазой содержит примерно 56% никеля и 44% титана [237]. Температура аустенитной фазы в этом случае меньше чем температура тела человека [81, 188]. Следовательно, обычные эндодонтические инструменты NiTi преимущественно будут иметь аустенитную фазу и демонстрировать сверхупругие свойства [237].

Электрополировка – процесс окончательной обработки металлической заготовки, который приводит к более гладкой поверхности с образованием блеска

[78]. Электрополировка используется для удаления неровностей на поверхности никель-титанового сплава, образовавшихся после изготовления инструмента методом шлифования. Это повышает устойчивость к разрушению, устойчивость к коррозии и режущую эффективность [78, 84]. Инструменты, подвергшиеся обработке электрополировкой, показывают более высокую устойчивость к циклической нагрузке по сравнению с инструментами, изготовленными без такой обработки [61, 160, 161].

Никель-титановый сплав M-wire – это нитиноловая композиция, состоящая из  $55,8 \pm 1,5\%$  никеля,  $44,2 \pm 1,5\%$  титана и менее 1% микроэлементов [75]. Температура аустенитной фазы M-wire составляет  $43\text{--}50^\circ\text{C}$  [2]. Следовательно, аустенитная фаза никель-титанового сплава M-wire отличается от характерной для никель-титанового сплава без обработки.

Никель-титановый сплав M-wire не полностью состоит из аустенита в клинических условиях. Показано присутствие мартенсита и R-фазы при температуре тела [187].

Никель-титановый сплав M-wire повышает устойчивость инструмента к циклической нагрузке по сравнению с никель-титановым сплавом без обработки, при этом устойчивость к торсионной нагрузке остается неизменной [80, 135].

Анализ DSC показал, что температура аустенитного состояния R-фазы инструментов составляет около  $18\text{--}25^\circ\text{C}$ , что указывает на сверхупругое аустенитное состояние в полости рта [130, 210, 211, 213].

После появления никель-титановых инструментов M-wire были разработаны инструменты R-phase, изготовление которых включает R-фазовую термообработку, скручивание металлической проволоки и специальную поверхностную обработку [151].

Инструменты с R-фазой демонстрируют превосходную устойчивость к циклической нагрузке [59, 264] и высокую гибкость по сравнению с никель-титановыми инструментами без термической обработки [91]. Инструменты M-wire и инструменты R-phase показали аналогичные результаты устойчивости к циклической нагрузке [79, 128].

Никель-титановый сплав с мартенситной фазой мягче и пластичнее, чем никель-титановый сплав с аустенитной фазой. Устойчивость к циклической нагрузке у инструментов с мартенситной фазой выше, чем у инструментов с аустенитной фазой [211]. Эндодонтические инструменты с мартенситной фазой получают методом термомеханической обработки. При нагреве инструментов с мартенситной фазой температурная трансформация обеспечивает переход в аустенитную фазу. При охлаждении сплава ниже начальной температуры мартенсита, сплав превращается из аустенита в мартенсит. Макроскопически трансформация практически никак не проявляется. Нагревание деформированного инструмента выше температуры аустенита (автоклавирувание) восстанавливает его первоначальную форму и первичное аустенитное состояние. Таким образом, мартенситные инструменты являются псевдопластичными и проявляют эффект памяти при нагревании.

Никель-титановые инструменты с контролируемым эффектом памяти (SM-wire) были представлены в 2010 году. SM-wire был получен в результате термомеханической обработки, которая изменяет фазовый состав из-за переориентации вариантов мартенсита.

Таким образом, никель-титановые инструменты с SM-wire не стремятся к полному выпрямлению во время механической обработки искривленных корневых каналов [86, 199]. Инструменты с SM-wire обладают большей гибкостью, чем инструменты M-wire и никель-титановые инструменты без обработки [119, 225]. К тому же инструменты с SM-wire обладают значительно повышенной устойчивостью к циклической нагрузке по сравнению с инструментами M-wire и инструментами без обработки [56, 119, 225].

Электрозарядная обработка (EDM) – бесконтактная диэлектрическая обработка поверхности инструментов SM-wire. Такая технология обработки укрепляет поверхность никель-титановых инструментов, повышая устойчивость к разрушению и режущую эффективность. Было показано повышение устойчивости к циклической нагрузке по сравнению с инструментами SM-wire, M-wire и обычными инструментами NiTi [184].

Сообщается, что EDM обработка инструментов с SM-wire лучше центрирует корневой канал, сохраняя анатомию корневого канала [206].

Никель-титановые инструменты SM-wire отличается от термообработанных инструментов Gold-wire и Blue-wire тем, что перед запатентованной термообработкой проходят специальную кислотно-механическую обработку [189].

Инструменты Blue-wire после термообработки покрываются оксидом титана, который придает им отличительный голубой оттенок.

Инструменты с Blue-wire за счет более низкой температурной трансформации из аустенита в мартенсит являются более пластичным никель-титановым сплавом [212]. Никель-титановые инструменты Blue-wire также обладают контролируемой памятью формы.

Для инструментов, обработанных термическим покрытием Gold, поверхностный слой также может обеспечивать отличительный цвет. Анализ DSC показал приблизительно 50 °C для температуры аустенита: эти инструменты также в основном содержат мартенсит или R-фазу в клинических условиях [127].

Все никель-титановые файлы Gold и Blue с термообработкой продемонстрировали повышенную гибкость и усталостную стойкость по сравнению с никель-титановыми инструментами без обработки и M-Wire [98, 238, 239].

Инструменты Gold-wire и Blue-wire значительно уступают по устойчивости к циклической нагрузке инструментам M-wire с электроразрядной обработкой [139]. Инструменты с Blue-wire и Gold-wire хорошо центрированы, поэтому их можно использовать в сильно изогнутых каналах [105, 106].

Никель-титановые инструменты (Max-wire) являются первыми инструментами, сочетающими в себе как эффект памяти формы, так и сверхэластичность в клиническом применении. При комнатной температуре эти инструменты имеют мартенситную фазу, а при воздействии внутриканальной температуры из-за фазового превращения переходят в аустенитную фазу. Инструменты Max-wire показали значительную устойчивость к циклической нагрузке по сравнению с инструментами SM-wire, Blue-wire и инструментами без обработки [107].

Термообработка C-wire – это однофайловые ротационные системы, они обладают контролируемой памятью, переменным поперечным сечением для повышения режущей эффективности и повышенной центрирующей способностью. Термообработанные (C-wire) никель-титановые инструменты обладают высокой устойчивостью к циклической нагрузке в 2,4 раза, по сравнению с термообработанными (T-wire) [110].

Термообработка (T-wire) – асимметричный дизайн поперечного сечения тройной спирали с двумя основными режущими кромками и 1-й вторичной режущей, которая обеспечивает идеальный компромисс между режущей эффективностью и эвокацией дэбриса. Термообработанные инструменты (T-wire) обладают повышенной гибкостью и устойчивостью к циклической нагрузке [171].

Актуальным остается вопрос испытания предела устойчивости к циклической нагрузке никель-титановых инструментов мартенситной фазы и аустенитной фазы и возможности комбинирования в клинических условиях.

### **1.3. Современные взгляды на инструментальную и медикаментозную обработку корневых каналов**

Существует различные методы обработки корневых каналов: методика Step Back; стандартизированная техника; методика Crown Down; техника Double Flare; техника Step Down; техника одной длины; гибридная техника (увеличение диаметра апикального сужения; авторы: Маунс Р. [США], Глассмен Г. [Канада]).

Ряд исследований демонстрирует, что частота рекапитуляции и петенсы выводит дентинные опилки в периодонт, а механическая травма продлевает процесс восстановления и дискомфорт пациента [77, 149, 173]. При этом расширение корневого канала меньше 40 размера, не позволяет провести полноценную ирригацию корневых каналов, так как эндодонтическая игла G25 имеет диаметр 0,4, что и соответствует диаметру кончика К-файла 40 [83, 109, 147, 202, 258].

При следовании стандартизированной технике корневой канал расширяется ручными стальными инструментами возрастающего размера на всю его рабочую

длину. Отличительной особенностью стандартизированной техники от Step back является инструментация ручными инструментами на всю рабочую длину без отступа. Канал расширяется до тех пор, пока на кончике инструмента не появится белая стружка дентина. Чтобы избежать закупорки проводится рекапитуляция. Главным достоинством данной методики является контроль качества инструментации по белой дентинной стружке (при инфицировании корневых каналов дентин в стенках имеет коричневый оттенок) [168] и возможность качественной ирригации, так как корневой канал будет иметь одинаковый размер на всю рабочую длину. Недостатком данной методики является отсутствие формирования канала конусной формы и полноценная трехмерная инструментация устьевой, выведение дентинных опилок в периодонт, образование дентинной пробки [10]. Было показано, что из-за расширения канала конусностью 2%, канал приобретает форму трубы, и во время ирригации при ретенции шприца возникает эффект поршня, и ирригационный раствор может выйти в периодонт, что приводит к асептическому ожогу [123, 170].

Методика Crown Down подразумевает расширение корневого канала ручными стальными или машинными никель-титановыми инструментами. Инструментация начинается с устьевой части инструментами большего размера и конусности, а по мере продвижения к апексу размер и конусность инструмента уменьшается. Техника Crown Down с использованием ручных инструментов является чрезвычайно трудоемкой – высок риск потери рабочей длины и выведения инфицированных дентинных опилок в периодонт. По этим причинам техника Crown Down не пользовалась высоким спросом, однако такое положение дел поменялось после появления машинных и ручных конусных никель-титановых инструментов. Снизилось количество инструментов, необходимых для обработки и формирования канала. После обработки машинными инструментами корневой канал приобретает форму конуса, что улучшает ирригацию. Также конусная форма обеспечивает возможность трехмерной obturation корневого канала. Недостатком данной методики является отсутствие контроля качества инструментации, а также obturation, в основном, конусным стандартизированным моноштифтом, размером, со-

ответствующим его конусному машинному никель-титановому инструменту. Показано, что в искривленных каналах при работе с машинными никель-титановыми инструментами есть высокий риск потери рабочей длины, что приводит к перерасширению апикального сужения [82]. Кроме того, никель-титановые инструменты более предрасположены к отлому, нежели стальные [74, 90, 206, 231].

Методика Double Flare предполагает расширение корневого канала и включает 3 стадии: Reverse flaring (обратное расширение), обработка апикальной части, flaring (расширение по всему каналу). Проводится двойное расширение корневого канала, с коронкового направления и с апикального направления. Эта методика является комбинацией техники step back и step down. Сначала расширяются части канала от устьевой до средней при использовании ручных стальных инструментов от большего размера к меньшему Reverse flaring (обратное расширение). Затем проводится расширение апикальной части на 2-3 размера больше исходного размера (Обработка апикальной части). Дальнейшая инструментация вводится по методике step back. Из-за чрезвычайной трудоемкости и сложности проведения манипуляций данный метод не пользовался высоким спросом. Кроме того, этот метод унаследовал недостатки метода step back [206].

Step down – это комбинация методики Crown Down и Step Back. Расширение устьевой части до первого изгиба начинают машинными инструментами Gates Gliden. После появления затруднений при введении инструмента Gates Gliden делают отступления на 1 мм и используют инструмент Gates Gliden большего размера. Благодаря такому подходу уменьшается вероятность появления опилок и закупорки ими просвета корневого канала. В апикальной части канал обрабатывается по классической методике Step Back. Недостатки данной методики унаследованы от методики Step Back. Кроме того, присутствует вероятность перфорации и отлома инструмента Gate Gliden.

При следовании технике одной длины корневой канал обрабатывают в направлении от устья к апексу (по типу Crown Down) с использованием инструментов от меньшего размера к большему (по типу Step Back). При этом все файлы вводятся на все рабочую длину. Отличительной особенностью данной техники

является эффект вкручивания. Этот эффект, при соблюдении техники, позволяет минимизировать вероятность отлома инструмента в корневом канале. Инструмент работает пассивно без давления, инструментация происходит равномерно на всю рабочую длину, облегчая введения следующего инструмента. За счет работы инструмента на всю рабочую длину значительно уменьшается и вероятность образования закупорки просвета корневого канала дентинными опилками, а также появляется возможность ирригации сразу после инструментации первым инструментом. Недостатком данной методики является высокая вероятность отлома инструментов больших размеров и конусности. В исследовании показано, что файлы mtwo 25/06 при кривизне канала в  $30^{\circ}$  повышают в разы вероятность отлома [179].

Гибридная техника использует увеличение диаметра апикального сужения, а ее отличительной особенностью является расширение устьевой и средней части машинными никель-титановыми инструментами K3 при использовании машинных никель-титановых инструментов LightSpeed в апикальной части [192]. Качество инструментации и ирригации увеличивается с расширением апикальной части канала и увеличением ее конусности. Во время инструментации апикальной области инструментами LightSpeed апикальная констрикция сохраняется. Недостатком данной методики является перерасширение наружной кривизны в искривленных каналах, перерасширение апикальной области, без учета морфологии, а большая конусность канала в апикальной области повышает риск отлома корня в апикальной области. Кроме того, высок и риск отлома инструмента в корневом канале [73, 234].

Использование конкретного инструмента или определенной техники в любом корневом канале не обязательно будет успешным. Это связано с тем, что различные эндодонтические системы, представленные на рынке, имеют совершенно разные характеристики, которые в зависимости от конфигурации корневого канала могут обеспечить или не дать желаемого результата в конкретном случае. Эти факторы являются фундаментом для разработки универсальной гибридной кон-



цепции обработки корневых каналов с учетом кривизны и морфологии корневого канала.

Границы апикального препарирования и obturации всегда были предметом споров, поскольку на протяжении десятилетий у «гуру» эндодонтии существовали различные точки зрения, основанные на биологической и клинической доказательных базах [134].

Существует две глобальные школы, которые по-разному рассматривают границы апикального препарирования. Американская школа предпочитает конусное препарирование без апикального упора. Этот подход оптимизирован под obturацию термопластифицированной гуттаперчей. При этом выход силлера за апекс обязателен и называется пафф (плевок). Для получения пафф обязательно проводить петенси.

Скандинавская школа предпочитает сохранение апикальной констрикции, а то и работать на 1–2 мм меньше рабочей длины, с формированием апикального бокса до больших размеров 35–80. Наличии пафф при данной методике считается критерием плохой obturации. Некоторые авторы рекомендуют obturировать апекс стерильными дентинными опилками.

Апикальное сужение теоретически является самой узкой частью корневого канала, где заканчивается пульпа и начинается периодонт. С целью упрощения Боровский и Жохова [7] называют апикальное отверстие «физиологической верхушкой», которая формируется двумя конусами: большой дентинной и малой цементной. Диаметр апикального сужения составляет у пожилых людей со сформированной верхушкой 350–400 мкм. Апикальное сужение не имеет равномерной формы. Апикальное сужение может иметь конусное сужение, множественное сужение, параллельное сужение и традиционное сужение [152]. Таким образом, анатомия диктует, что минимальное апикальное препарирование должно соответствовать размеру от 35–40 по ISO или более [228]. Микробиологические исследования показали, что большие размеры апикального препарирования уменьшают бактериальную обсемененность [97, 109]. Увеличение размера апикального препарирования повышает вероятность удаления инфицированного дентина в апи-

кальной области и облегчает доступ к ирригационным растворам [218]. В дополнение к этим выводам гистологические исследования указывают на то, что, увеличивая размер апикального препарирования, можно эффективно добиваться стерильной дентинной стружки в апикальной области [234, 245]. Учитывая тот факт, что апикальная констрикция имеет не округлую форму, апикальное препарирование больших размеров повышает качество трехмерной obturации и облегчает ее [204]. Известно, что чрезмерное увеличение размера апикального препарирования ручными или машинными инструментами повышает вероятность вертикального перелома. А при нарушении апикальной констрикции снижается качество трехмерной obturации [148]. В последнее время большое внимание уделяется формированию корневого канала с минимальным апикальным сужением и obturацией методом термопластифицированной гуттаперчей. Однако в инфицированных корневых каналах решающее значение имеет качество химико-механической обработки: удаление инфицированного дентина в апикальной области, контроль качества препарирования, инфицированного дентина в виде белой дентинной стружки, создание апикального упора при использовании инструментов большего размера.

Инфекционные агенты корневых каналов сосредоточены в биопленках. Биопленка – конгломерат колоний микроорганизмов, которые погружены во внеклеточный матрикс и прикреплены к поверхности.

Биопленка прикрепляется к поверхности дентина за счет экстрацеллюлярного матрикса, который играет роль мощного биологического клея. Биопленка не является однородной субстанцией, она гетерогенна, сквозь нее проходят водные каналы, несущие питательные вещества и вымывающие продукты жизнедеятельности микроорганизмов. Сложность и изменчивость системы корневых каналов вместе с многовидовой природой биопленок делают дезинфекцию этой системы чрезвычайно сложной [57, 232].

Микробная персистенция, по-видимому, является наиболее важным фактором неудачи лечения корневых каналов. Биопленка удаляется с использованием

специальных инструментов и дезинфицирующих химических ирригантов и внутриканальных препаратов.

Физиологические свойства бактерий в биопленках отличаются по сравнению с той же бактерией в культуральной среде, отчасти потому, что микроорганизмы в биопленках защищены от окружающей среды своей матрицей [87]. Микроорганизмы в биопленке более устойчивы к защитным механизмам хозяина, чем их планктонные аналоги.

В бактериальной микрофлоре корневого канала изначально преобладают аэробы и факультативные анаэробы [62, 256].

Эндодонтическая инфекция в корневых каналах может быть первичной или вторичной. Первичная эндодонтическая инфекция включает воспаление пульпы и инфицирование системы корневых каналов в результате вторжения микробов и их продуктов распада, что, в конечном итоге, приводит к воспалению периодонта. При первичной эндодонтической инфекции в основном преобладают следующие группы микроорганизмов: *Bacteroides*, *Prophyromonas*, *Prevotella*, *Fusobacterium*, *Treponema*, *Peptostreptococcus*, *Eubacterium* и *Camphylobacter* [193, 198]. Вторичная эндодонтическая инфекция возникает в виде повторного заражения или остаточной инфекции в зубах, на которых ранее проводилось лечение системы корневых каналов. Считается, что персистенция микроорганизмов в системе корневых каналов после лечения является основной причиной неудачи лечения [58].

Существует определенный контраст в микробных фенотипах при первичных инфекциях по сравнению со вторичными инфекциями, причем в последних преобладают грамположительные бактерии [60]. Исследования показали распространенность некоторых групп в зубах с инфекцией после лечения, таких как энтерококки, стрептококки, лактобациллы, актиномицеты и грибы (такие как *Candida*). В частности, отмечалась высокая доля *Enterococcus faecalis* в случаях со стойким апикальным периодонтитом [163].

Целями ирригации корневых каналов являются не только растворение жизненно важных, но и некротических тканей пульпы, разрушение эндодонтических биопленок, нейтрализация эндотоксинов и удаление смазанного слоя [222, 259].

Задача ирригации заключается в том, чтобы дезинфицирующие средства достигали этих мельчайших областей, удаляя некротические ткани в биопленках, и уменьшали воспаления.

Остается актуальным вопрос исследования возможности комбинации различных методик механической обработки корневых каналов.

#### **1.4. Современный взгляд на ирригацию корневых каналов**

В эндодонтической терапии гипохлорит натрия (NaOCl) используется в концентрациях от 0,5 до 6%. Это соединение считается самым мощным дезинфицирующим средством в эндодонтии благодаря своей отличной способности растворять некротические ткани, в дополнение к его антимикробной активности [125, 259].

Исследования показывают, что антимикробная активность не зависит от концентрации, но лизирование некротических тканей и разрушение биопленки зависят от концентрации [236, 265]. Эффективность гипохлорита натрия может быть улучшена за счет нагревания раствора, применения методов перемешивания/активации, увеличения объема ирриганта и снижения pH раствора ирриганта [136].

В качестве ирриганта корневых каналов рекомендуется использовать концентрацию 2%-го хлоргексидина. Он имеет более низкую степень токсичности по сравнению с гипохлоритом натрия и устойчивое действие [263]. Было показано, что чередование 2%-го хлоргексидина и цетримиды приводит к высокому процентному снижению *Enterococcus faecalis* [65].

Цетримид способствует разрушению матрицы внеклеточного полисахарида, позволяя СНХ действовать более непосредственно на *Enterococcus faecalis*, что и приводит к большему бактерицидному потенциалу [71]. В отличие от NaOCl, СНХ 2% не способен разрушать структуру биопленки [85].

Недавно был введен в оборот новый ирригационный раствор Алексидин 1%. Алексидин 1% отличается от СНХ наличием 2 гидрофобных этилгексильных

групп, что обеспечивает быстрое антибактериальное действие. Алексидин 1%, как и СНХ 2%, не обладает лизирующей активностью в отношении биопленки [261].

Этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА) является хелатирующим агентом для эффективного удаления неорганической части смазанного слоя. Чередование использования NaOCl и ЭДТА во время лечения корневых каналов обеспечивает эффективное удаление органического и неорганического дебриса.

В последние годы использование наночастиц для дезинфекции корневых каналов приобрело популярность благодаря их широкому спектру антибактериальной активности. Наночастицы хитозана (CS-*np*), оксида цинка (ZnO-*np*) и серебра (Ag-*np*) обладают широким спектром антимикробной активности, обусловленной изменением проницаемости клеточной стенки, приводящей к гибели клеток [145, 216].

Ферментативная ирригация проводится трипсином 1% и протеиназой 1%. При ультразвуковой активации трипсина антибактериальная активность повышается в отношении аэробов и анаэробов; более того, продемонстрирована способность разрушать биопленку [177].

С ростом тенденции к одноразовой эндодонтии и отсутствием явного преимущества многократного посещения по сравнению с однократным [166], роль повязок между приемом сомнительна и может со временем ослабевать. Было показано, что гидроксид кальция неэффективен против биопленок *E. faecalis* даже после 24 часов лечения [244].

Двойные и/или тройные антибиотические пасты разрушают биопленку лучше гидроксида кальция и хлоргексидина [262]. Тем не менее, возможность бактерий корневых каналов развивать устойчивость к антибиотикам и возможные аллергические реакции у пациентов остаются важными проблемами с этой категорией медикаментов.

Сложность анатомии корневых каналов и живучесть биопленок диктуют, что простой доставки противомикробных средств недостаточно для дезинфекции систем корневых каналов. Эта актуальная проблема сподвигла исследователей разработать эффективные системы подачи и перемешивания ирригантов для ирригации корневых каналов. Эти системы можно разделить на 2 большие катего-

рии: с ручными методами перемешивания и машинные устройства для подачи и/или перемешивания.

Ручной метод перемешивания шприцом считался эффективным методом до появления пассивной ультразвуковой активации [137]. Перемешивание проводится иглой эндодонтического шприца путем пассивных вертикально-поступательных движений. При этом используется игла с боковой канавкой. Одним из преимуществ шприцевой активации и ирригации – контроль глубины введения иглы и обратного забора ирригационной жидкости при ретенции иглы [247]. Недостатком ручного шприцевого метода является слабая активация при наличии выступов, парусов, нависающих краев, что снижает эффективность по сравнению с ровным каналом [176]. Показано, что при ручной ирригации ирригационный раствор может продвинуться всего на 1 мм от кончика иглы [194]. Это неприемлемо, потому что ирригация и активация происходит в устьевой и средней части канала, к тому же ирригационный раствор не проникает в дентинные каналы [92]. Эффективность ручной ирригации и активации сильно различается в зависимости от размера расширения канала. Так, при использовании иглы 27 минимальное расширение канала должно составлять не менее 40 файла по ISO [109]. Соответственно, врачам необходимо балансировать между механической эффективностью ирригации и негативным последствием в виде ослабления тканей зуба [157].

При использовании ирригационной иглы, покрытой щеточкой у кончика иглы, калибра 30 (NaviTip FX; Ultradent Products Inc, South Jordan, UT), в исследованиях наблюдалось улучшение чистоты канала в коронковой части [55]. В то время, как в средней и апикальной части результаты статистически не отличались в сравнении с иглой без щеточки [55]. Существуют противопоказания для апикального введения иглы с щеточкой, так как это может привести к скоплению дебриса в апикальной области корневого канала [140].

Для ручной динамической ирригации необходим хорошо подогнанный гуттаперчевый конусный штифт, чтобы он соприкасался со стенками корневого канала. При этом необходимо совершать вертикально-поступательные короткие

движения на 2–3 мм, с амплитудой 3,3 Гц, 100 ударов за 30 секунд. Такая методика эффективна для ручной активации ирригационного раствора [169]. Динамическая ирригация ручным методом была рекомендована как простой и рентабельный, но трудоемкий подход.

Для облегчения удаления дебриса и смазанного слоя из корневых каналов Ruddle использовал микрощетку, прикрепленную к наконечнику [201]. Щетка состоит из стержня и собственно конической щетки. Во время очистки микрощетка вращается со скоростью до 300 об/мин и при контакте с неровной поверхностью щетины деформируется, что облегчает выведение дебриса из корневого канала.

Компания SybronEndo (Orange, CA) представила ирригационную систему Quantec-E. Она обеспечивает автономную подачу ирригационной жидкости и подключается к эндомотору Quantec-E Endo. Система состоит из помпы, 2 резервуаров для ирригационного раствора и трубок [252]. В теории, непрерывная подача ирригационной жидкости во время механической обработки должна обеспечивать больший объем обновления ирригационной жидкости. Это, в свою очередь, должно обеспечить более качественную очистку и попадание ирригационной жидкости глубже, чем при ирригации эндодонтическим шприцом. Эти предположения не были подтверждены работой Сетлока [207]. В исследовании Walters система ирригации Quantec-E обеспечила более чистые каналы и уменьшение смазанного слоя только в устьевой части канала по сравнению с ирригацией эндодонтическим шприцом [252].

Звуковая активация отличается от ультразвуковой более низкой частотой колебаний (1–6 кГц) и более высокой амплитудой колебаний. Впервые об использовании звуковой активации в эндодонтии сообщил Тронстад [241]. В исследованиях Дженсен не было выявлено явной разницы в качестве очистки между звуковой и ультразвуковой системами активации в ровных каналах [133]. В искривленных каналах выбор врача ограничен ультразвуковой активацией из-за ультразвуковой металлической насадки с абразивной поверхностью, в отличие от звуковой активации используемый гибкий полимер [200].

Частота колебания ультразвука 25–30 кГц. В сравнении со звуковой активацией, ультразвуковая активация производит высокие частоты, но низкие амплитуды. В литературе описаны два типа ультразвуковой активации. Первый – ультразвуковая активация с подачей ирригационной жидкости. Второй – ультразвуковая активация без подачи ирригационной жидкости. В исследованиях не выявлено явного преимущества в очистке корневого канала между первым и вторым типом ультразвуковой активации [54, 200].

Первый тип ультразвуковой активации отличается от второго тем, что не врачу приходится каждый раз заполнять корневой канал ирригационной жидкостью, используя эндодонтический шприц. Но глубина введения ирригационного раствора контролируется эндодонтическим шприцом и активация вторым типом ультразвуковой активации. В сравнительном исследовании оба метода показали одинаковую эффективность [247].

Нусштейн (Nusstein) представил адаптер, с помощью которого эндодонтическая игла 25 калибра крепится на ультразвук. Такое крепление обеспечивает постоянную подачу ирригационного раствора с ультразвуковой активацией [180]. При одноминутной непрерывной ирригации с ультразвуковой активацией, наблюдается значительная очистка канала в средней и апикальной части [103].

Система EndoVac – это система, состоящая из макро- и микроканюль, подключающихся через трубку к шприцу с ирригационным раствором и подключающихся к слюноотсосу. Данная система обеспечивает постоянное обновление ирригационного раствора и возможность введения металлической канюли разного диаметра на все рабочую длину за отрицательные давления. Известно, что объём обновления ирригационного раствора и качество очистки при таком подходе выше, чем при мануальной ирригации [131, 178].

Система RinsEndo обеспечивает нагнетание и высасывание ирригационного раствора с частотой 1,6 Гц. Известно о высоком риске апикальной экструзии ирригационного раствора при использовании этой системы по сравнению с мануальной техникой ирригации и гуттаперчевой активацией [126, 169]. Ввиду хорошо изученных свойств ирригационных растворов остается вопрос снижение токсич-



ности, повышение эффективности и подачи ирригационных растворов в корневые каналы.

### **1.5. Концептуальные основы силеров и филлеров для корневых каналов**

Слово «гуттаперча» – редкое в русском языке заимствование из малайского языка. Гутта – это млечный сок (или – латекс), перча – дерево. Гуттаперча поглощает всего 0,2% влаги, поэтому ее успешно применяют для пломбирования корневых каналов, а также для изоляции проводов. Исключительно важное свойство гуттаперчи – стойкость к кислотам и щелочам. На нее могут воздействовать лишь органические растворители, ароматические углеводороды, CS<sub>2</sub>, CHCl<sub>3</sub>. На присутствие самых сильных кислот, в том числе плавиковой, она не реагирует. Поэтому плавиковую кислоту можно хранить и перевозить в сосудах из гуттаперчи.

Биосовместимость гуттаперчи хорошо известна, хотя некоторая цитотоксичность описывалась в литературе: выведение гуттаперчи в верхушечный периодонт и прилежащую костную ткань у собак показало, что в ранние сроки наблюдений этот пломбировочный материал вызывает у подопытных животных развитие в области инокуляции выраженных некробиотических и некротических изменений с формированием в последующем персестирующих очагов хронического гранулематоза по типу неиммунных гранулем инородных тел [23]. По некоторым данным, гуттаперча, применяемая в стоматологии, обладает антибактериальными свойствами за счет содержания в ней окиси цинка [17].

Существуют различные методики распломбирования гуттаперчи из корневых каналов: механическая обработка канала при помощи инструмента на низких оборотах или ультразвуком, при этом, по мере прохождения производится замена инструмента большого размера на меньший [16]. Этот способ является чрезмерно трудоемким и агрессивным, так как предполагается неоднократная замена инструмента в процессе удаления гуттаперчи. Возможна потеря контроля над кон-

чиком инструмента во время удаления неразмягченной гуттаперчи, что может привести к образованию уступов, необходимости агрессивного препарирования, перфорации и перелому инструмента[249].

Другой известный способ предполагает размягчение гуттаперчи при помощи сольвента и последующее ее удаление посредством файла. При этом в качестве сольвента используется хлороформ [101]. Использование данного сольвента ускоряет процесс распломбировки гуттаперчи без чередования инструментов разных размеров. Однако используемый в качестве сольвента хлороформ отнесен IARC (международное агентство по изучению рака) к группе 2B, в качестве возможного человеческого канцерогена. Кроме того, при работе с коффердамом пользоваться хлороформом следует очень осторожно, поскольку завеса латексный лист также растворяется под воздействием хлороформа, в результате чего возможно его попадание на слизистую оболочку [29].

Известен еще один способ, при котором obturationный материал удаляют разогретым зондом, при этом окончательное выведение obturationного материала осуществляется при помощи поэтапного введения сольвента и файла, причем используют скипидар или эвкалипт. Однако неправильный выбор сольвента при осуществлении этого подхода может привести к осложнениям. В частности, такие сольвенты как хлороформ и скипидар относятся к категории агрессивных, т. е. таких, использование которых может привести к повреждениям тканей периодонта. По результатам экспериментальных гистоморфологических исследований выявлено, что через сутки после введения скипидара ткани пародонта отёчны и местами воспалены, эпителий десны отёчен и воспален. В зоне введения скипидара обнаружено, что пограничная пластинка периодонта повреждена, собственная связка вакуолизована и местами разрушена. Сосуды резко вакуолизованы и местами разрушены. Спустя 10 дней костная ткань альвеолярного отростка в месте введения скипидара разрыхлена и содержит остатки вещества с образованием полостей [21].

При исследовании препаратов после воздействия эвкалиптового масла было обнаружено, что спустя сутки в периодонте имеются признаки воспаления [21].

Однако деструктивных изменений нет, кость сохраняет свою структуру. При этом, в результате проведения лабораторного исследования выявлено, что применение во время эндодонтического ретритмента скипидара обеспечивает наибольшую степень размягчения и минимальное время для удаления корневой пломбы по сравнению с эвкалиптовым маслом.

Считается, что цель obturation корневых каналов – это абсолютный корневой герметизм. Хотя идеальный корневой герметизм в действительности недостижим, необходимо приложить все условия, чтобы приблизиться к этому идеалу. Качественная пломбировка должна соответствовать следующим требованиям: достижение коронального герметизма, корневого герметизма и запечатывания остаточных микроорганизмов [32].

Независимо от того, насколько качественно была проведена obturation системы корневых каналов, при нарушении коронкового герметизма воспалительный процесс возобновляется [24, 35]. При нарушении целостности коронковой конструкции, рекомендовано дополнительно герметизировать устье и дно пульповой камеры стеклоиномерным цементом [31].

Современные материалы для пломбировки корневых каналов имеют два компонента: филлер и силер. В настоящее время не существует идеального материала или метода пломбировки, который отвечал бы всем нижеследующим требованиям: простота использования и оптимальное время работы; obturation апикальной констрикции и дельт; стабильность материала; неподверженность влиянию тканевой жидкости; рентгеноконтрастность; антибактериальная активность; нетоксичность; возможность легкой распломбировки.

В качестве современного филлера используются гуттаперчевые штифты. Гуттаперча – натуральный каучук с химическим названием 1,4-полиизопрен. Гуттаперча в основном встречается в двух кристаллических формах; альфа и бета-фазы. Под влиянием температур, гуттаперча может переходить из альфа-фазы в бета-фазу и обратно [39].

Цементы из силиката кальция представляют собой группу материалов на основе минерал-триоксидного агрегата (МТА), используемых при obturation кор-

невых каналов с нарушенной апикальной констрикцией. МТА является биосовместимым материалом, который при контакте с пульпой и перирадикулярной тканью стимулирует процесс регенерации [33, 34].

Однако МТА имеет ряд недостатков, которые заставляют исследователей и клиницистов во всем мире искать альтернативу. МТА – достаточно трудный в использовании материал, он имеет минимальное время пластичности, окрашивается, не может быть использован для ежедневного клинического приема, не предоставляет возможности распломбировки.

Выбор оптимального силера для клинического использования, обеспечивает долгосрочный успех консервативного лечения корневых каналов. Силеры используются как лубрикант и фиксирующий агент во время obturation филлером. Эндодонтические силеры классифицируются по составу на основе реакции схватывания: оксид цинк-эвгенол, салицилат, жирные кислоты, стеклоиномеры, – силиконы, эпоксидная смола, трикальций силикат, метакрилатная смола.

Цинк-оксид эвгенольный цемент (ЦОЭ) был разработан Риккертом и Диксоном в 1931 году [196, 197]. ЦОЭ оставался популярным силером благодаря низкой стоимости, медленному схватыванию, простоте использования и антибактериальным свойствам [93]. Некоторые из ЦОЭ цементов (Proco-Sol) из-за содержания серебра вызывали потемнение зубов. В течение нескольких лет был представлен параформальдегид содержащий ЦОЭ цемент, но не получил популярности, потому что формальдегид вызывает коагуляционный некроз, а остаток формальдегида нарушает местную регенерацию пораженного участка [229].

Еще один из вариантов ЦОЭ цемента – N2, содержащий свинец и ртуть, был представлен в 1973 году [203]. По данным исследования, было выявлено наличие токсичных материалов в отдаленных иммигрированных системах организма перидонтальной щели [183].

Компанией Coltene/Whaledent был представлен ЦОЭ цемент с гидроксид кальциевой добавкой. Однако у него не было выявлено существенного терапевтического эффекта по сравнению с обычным ЦОЭ цементом [115].

Герметики на основе салицилатов – обычно узнаваемы по торговому названию, а не по их составу. Sealapex и Apexit Plus – это пример салицилатных герметиков, содержащих гидроксид кальция. Силеры, содержащие гидроксид кальция, были предназначены для стимулирования остеогенеза, цементагенеза и создания противомикробной среды. К сожалению, в клинике они не показали желаемой эффективности [102, 172]. Однако эффективные герметики не должны быть растворимыми и должны оставаться нетронутыми как можно дольше [120].

МТА Fillapex – уникальный герметик на основе салицилатной смолы, содержащий 15% порошка МТА. МТА Fillapex не следует рассматривать как герметик из трехкальциевого силиката, так как его состав, в основном, включает смолы [132].

Известно, что эвгенол является цитотоксичным агентом [159]. Поэтому экспертным сообществом приветствовалась разработка силеров из оксида цинка, не содержащих эвгенол. Жирные кислоты используются вместо эвгенола в качестве хелатообразующих агентов. Силер Canals-N представляет собой герметик из оксида цинка с жирной кислотой, в котором используется линолевая кислота, изостеариновая кислота и канифоль [63]. Канифоль содержит несколько смоляных кислот, наиболее распространенной из которых является абиетиновая кислота, получаемая из хвойных деревьев [113]. Еще один герметик на основе жирных кислот, Ногель, изготавливают с использованием лауриновой кислоты и оксида цинка.

Силеры из стеклономеров изготавливают путем смешивания силикатного стекла с полиакриловой и родственными кристаллами [76]. Герметик для стеклономерного цемента, КТ-308 (ГК, Токио, Япония), выделяет фтор, что способствует предотвращению кариеса и адгезии со структурой зуба [181].

Герметики на основе силикона состоят из полиметилвинилсилоксана, содержащего соль платины и полиметилгидрогенсилоксана, и устанавливаются путем реакции присоединения между винильными группами на полидиметилсилоксановой цепи и гидросилильными группами на полидиметилсилоксановой цепи, в результате которой создается полимер [209]. GuttaFlow, GuttaFlow 2 и RoekoSeal (Coltene / Whaledent) – это примеры силиконовых герметиков [117, 260].

Силеры на основе эпоксидной смолы, такие как АН 26 и АН Plus, состоят из низкомолекулярных эпоксидных смол и аминов. В 1993 году Спонгберг и др. сообщили, что из АН 26 высвобождается формальдегид, и это обусловило переход с АН 26 на АН Plus, который не выделяет формальдегид [230].

Биокерамика – это биосовместимые керамические материалы или оксиды металлов с повышенной запечатывающей способностью, антибактериальной и противогрибковой активностью, применяемые в медицине и стоматологии. Они обладают способностью либо функционировать как ткани человека, либо резорбировать и стимулировать регенерацию естественных тканей.

Силикат кальция на основе – Цементы – Портландцемент, Минеральный триоксидный наполнитель (МТА), Биодентин (Септодонт, Франция) Герметики – Endo CPM Sealer (EGO SRL, Буэнос-Айрес, Аргентина), МТА Fillapex (Angelus, Бразилия), BioRoot RCS (Септодонт, Франция), TechBiosealer (Profident, Кельце, Польша). Фосфаты кальция / трикальцийфосфат / гидроксипатит на основе Смеси силикатов кальция и фосфатов кальция – iRoot BP, iRoot BP Plus, iRoot FS (Innovative Bioceramix Inc., Ванкувер, Канада), EndoSequence BC Sealer (Brasseler, Savannah, GA, США) / Total Fill, Bioaggregate (Innovative Bioceramix Inc., Ванкувер, Канада), Tech Biosealer, Ceramicrete (разработан в Арагонской национальной лаборатории, Иллинойс, США).

В 1824 году Джозеф Аспдин запатентовал продукт под названием портландцемент (ПК), полученный в результате прокаливания смеси известняков, поступающих из Портленда в Англии и кремниево-глинистых материалов [248]. Портландцемент имеет сходный состав с МТА и доступен в сером и белом цвете [248]. Растворимость белого Портландцемента меньше чем у МТА [250]. После гидратации биологическая активность Портландцемента ниже чем у МТА [114]. Портланд цемент проявляет антибактериальные и противогрибковые свойства, аналогичные МТА в отношении *Enterococcus faecalis*, *Micrococcus luteus*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Candida albicans* [186]. Герметизирующая способность при использовании в obturации корневого канала серого и белого Портленд цемента аналогичны с белым и

серым МТА [208]. Результаты исследований биосовместимости ПК разнятся в зависимости от типа клеток, использованных в исследовании. Не наблюдалось генотоксичности или цитотоксичности, связанных с ПК, аналогичной МТА в отношении фибробластов [111]. Мезенхимальные стволовые клетки продемонстрировали менее интенсивную пролиферацию в присутствии ПК, чем в присутствии МТА [96]. Наряду с высокой растворимостью, Портленд цемента по сравнению с МТА и высвобождения большого количества свинца и мышьяка, вызывает сомнения относительно его безопасности по отношению к окружающим тканям [186].

Первым биокерамическим материалом, успешно используемым в эндодонтии, был цемент минерального триоксидного агрегата (МТА), который был введен доктором Торабинежадом в 1993 году. МТА бывает в двух типов: серый и белый. Белый МТА был получен в результате удаления ионов железа из серого МТА. Прочность МТА на сжатие – ~40 МПа в течение 24 часов и ~67 МПа в течение 21 дня. Прочность на выталкивающую связь: исследования показали, что 4-мм толщина МТА [164]. МТА не оказывает заметного мутагенного эффекта, не проявляет нейротоксических свойств и не оказывает побочного влияния на микроциркуляцию. В отношении фибробластов не наблюдалось генотоксичности или цитотоксичности МТА [111]. Однако мезенхимальные стволовые клетки в присутствии МТА показали более активную пролиферацию и миграцию, чем в присутствии ПК [96]. МТА проявляет антибактериальные и противогрибковые свойства в отношении *Enterococcus faecalis*, *Micrococcus luteus*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Candida albicans* [186]. Созревание МТА после гидратации более структурировано, чем в случае ПК, и это обуславливает более высокую биологическую активность первого [114]. К преимуществам МТА можно отнести то, что он образует гидроксид кальция, создает антибактериальную среду своим щелочным рН и образует гидроксиапатит на поверхности. К недостаткам можно отнести: длительное время схватывания, потенциальное обесцвечивание зубов, сложность удаления материала из корневого канала.

Биодентин – это продукт на основе силиката кальция, который стал коммерчески доступным в 2009 году (Septodont, Saint Maur des Fosses, Франция). Материал разработан с использованием цементной технологии на основе МТА и улучшения некоторых его свойств. Биодентин в отличие от МТА обладает более быстрым временем схватывания и усиленной микроструктурой. Ускорение времени схватывания связано с добавлением хлорида кальция в состав [165]. Прочность Биодентина на сжатие со временем начинает усиливаться и может достигать 300 мПа. Данное значение приближено к природной прочности на сжатие природного дентина (297 мПа) [66]. Модуль упругости Биодентина – 22,0 гПа, что приближено к значениям модуля упругости дентина 18,5 гПа [195]. Микромеханическая адгезия Биодентина обусловлена щелочным эффектом и проникновением в дентинные каналы микроскопических конусов биодентина [195]. Антибактериальная активность этого состава обусловлена его высоким рН (12,5) [66]. Состав не токсичен, не оказывает неблагоприятного воздействия на дифференциацию клеток. Увеличивает уровень TGF- $\beta$ 1 (фактор роста) в клетках пульпы, что способствует ангиогенезу, дифференциации и минерализации клеток [220].

Стоит упомянуть и экспериментальные алюмосиликаты кальция. EndoBinder – новый эндодонтический цемент на основе алюмината кальция, названный EndoBinder (Binderware, São Carlos, SP, Brazil), был разработан с целью сохранения свойств и возможностей клинического применения МТА и устранения его отрицательных характеристик. EndoBinder показал удовлетворительную тканевую реакцию; он был биосовместим при тестировании в подкожной клетчатке крыс [205].

Generex A (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, США) – это материал на основе силиката кальция, который имеет некоторое сходство с ProRoot МТА, но смешивается с уникальными гелями вместо воды, используемой для МТА. Generex A смешивается до консистенции, похожей на тесто, что облегчает введение его в корневой канал [205].

Capasio (Primus Consulting, Bradenton, FL, США) состоит в основном из оксида висмута, стоматологического стекла и алюмосиликата кальция с кремнеземом и гелем на основе поливинилацетата. В недавнем исследовании было показа-



но, что Capasio и МТА обладают минерализационной способностью в результате контакта с синтетической тканевой жидкостью и осаждения гидроксиапатита. В другом исследовании сравнивали Generex А, Generex В, Capasio вместе с Ceramicrete-D с использованием первичных остеобластов. Generex А был единственным эндодонтическим материалом, который поддерживал рост первичных остеобластов [205].

Отдельного упоминания заслуживает биокерамика на основе фосфата кальция. В 1971 году Хенч разработал кальций- и фосфатсодержащую стеклокерамику, называемую биостеклом, и показал, что она химически связана с костью хозяина через слой, богатый фосфатом кальция.

Материал классифицируют: на основе пористости – плотная или пористая; на основе рассасываемости – нерезорбируемый (гидроксиапатит), рассасывающийся ( $\beta$ -трикальцийфосфат); прочности на сжатие – пористый – 30–170 мПа, плотный – 120–917 мПа.

Был разработан материал костного заменителя Pulp-capping, который стимулировал восстановление структуры зуба за счет высвобождения значительного количества ионов кальция и фосфатов [223]. Основным недостатком биокерамики из фосфата кальция является ее недостаточная прочность [156].

В отдельную категорию можно выделить смеси силиката кальция и фосфатов кальция. BioAggregate (Verio Dental Co. Ltd., Ванкувер, Канада) состоит из силиката трикальция размером наночастицы, оксида тантала, фосфата кальция, диоксида кремния и проявляет улучшенную производительность по сравнению с МТА. Его биоактивность была продемонстрирована осаждением гидроксиапатита [88]. BioAggregate обладает лучшей запечатывающей способностью, более высокой устойчивостью к кислотам и трещинам, чем МТА [242]. BioAggregate обладает большим потенциалом для индуцирования одонтобластной дифференцировки и минерализации, чем у МТА.

Ceramicrete – это самозатвердевающая фосфатная керамика, разработанная в Аргоннской национальной лаборатории, штат Иллинойс, США, которая затвердевает в условиях окружающей среды, образующихся в результате кислотно-

щелочной реакции между кислым фосфатом ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) и незначительным количеством растворимого основного оксида металла (кальцинированный  $\text{MgO}$ ). Совсем недавно был создан биосовместимый рентгеноконтрастный стоматологический/костный материал на основе керамики путем включения порошка гидроксипатита и рентгеноконтрастного наполнителя из оксида церия в фосфосиликатную керамику. Время схватывания: материал на основе керамзитобетона имеет начальное время схватывания 6 минут и окончательное время схватывания 12 минут. Модифицированная версия этого материала, Ceramicrete D, была введена путем смешивания порошка с деионизированной водой. Биоагрегат и Керамикрет D показали результаты, аналогичные результатам утечки белого МТА при использовании в качестве материалов для пломбирования корневых концов [154]. Клиническая обработка и устойчивость к вымыванию Ceramicrete D превосходит показатели МТА; однако первый несколько слабее, менее рентгеноконтрастен и изначально более кислый, чем Generex A и Capasio.

В 2008 году Асгари представил BioniqueDent (Тегеран, Иран), цемент, сочетающий превосходную биосовместимость МТА с соответствующим временем схватывания (менее 1 часа), технологическими характеристиками, химическими свойствами и невысокой ценой [69]. BioniqueDent содержит водорастворимые ионы кальция и фосфата и образует гидроксипатит после отвердевания. Его герметизирующая способность в качестве пломбировочного материала на конце корня сопоставима с МТА. Однако СЕМ продемонстрировал превосходную герметизирующую способность по сравнению с МТА в присутствии загрязнений слюной [70]. Антибактериальная активность – Антимикробные свойства СЕМ в отношении грамотрицательных, грамположительных и кокков/бацилл были сравнимы с таковыми у МТА и гидроксидом кальция (СН) в тесте по диффузии агара. Результаты показали сопоставимые антибактериальные эффекты с СН и значительно лучшие результаты, чем у МТА [67]. Исследования *in vivo* на собаках показали, что в качестве материалов для укупорки пульпы МТА и СЕМ одинаково хороши, и оба они лучше, чем СН, особенно с точки зрения стимулирования образования дентинного моста [68].

Недавно представленный новый материал для obturации корневого канала EndoSequence Root Repair Material (ERRM; Брасселер, Саванна, Джорджия) доступен в двух разновидностях: iRoot SP и iRoot BP Plus. Герметизирующая способность этого материала сравнивалась с МТА с использованием модели бактериальной утечки, и в случае EndoSequence Root Repair Material протечек было значительно больше, чем в случае МТА [129]. Антибактериальная активность EndoSequence Root Repair Material сравнима с таковой у МТА [162].

Цементы из силиката кальция и гидроксида кальция являются биологически активными, при контакте с жидкостью образуют гидроксиапатит [116]. ProRoot МТА Gray (Dentsply Сирона, Джонсон-Сити, Теннесси, США) был оригинальным продуктом, который использовался для ретроградного пломбирования корневого канала и для запечатывания перфорации, а не как силер [227, 233, 251].

Компания (Инновационный Биокерамикс, Ванкувер, Канада) выпустила однокомпонентный силер на основе трехкальциевого силиката. В разных странах этот продукт продавался под разными названиями: iRoot SP, EndoSequence BC, Total Fill BC, Edge Endo Sealer. Механизм схватывания в этом случае заключается в поглощении воды из дентинных канальцев [146], с дальнейшим образованием гидроксида кальция на поверхности дентинных канальцев.

В контексте поднятой тематики необходимо уделить внимание и силерам на основе метакрилатной смолы. Первое поколение герметиков на основе метакрилатной смолы началось с Hydron (Hydron Technologies, St. Petersburg, FL, USA), он состоял из полимерного геля 2-гидроксиэтилметакрилата для инъекций в канал без необходимости в сердечнике, таком как гуттаперча. Однако из-за его короткого рабочего времени, очень низкой рентгенопрозрачности, проблем, связанных с удалением из каналов, и склонности к раздражению периапикальных тканей, его применение было прекращено в 1980-х годах [174]. Эндорез (Ультрадент, Южная Иордания, Юта, США), принадлежащий ко второму поколению этой группы, – это силер двойного отвердевания, который не требует адгезива к дентину. Метакрилатная смола использовалась без гуттаперчи для создания моноблока [217]. К третьему поколению можно отнести Resilon/Epiphany (Resilon Research, Мэдисон,

Коннектикут, США), содержащий праймер для самопротравливания. Во время полимеризации силер обеспечивал ковалентную связь с дентином и с резилоновым штифтом [214]. Гибридная корневая пломба (Sun Medical, Сига, Япония), пример четвертого поколения, гибридизировала дентин, делая его более устойчивым к низкому pH, и уменьшая шансы микроподтекания [64, 167].

Основной принцип obturации корневых каналов зубов заключается в концепции трехмерной obturации с применением первичнотвердых материалов в качестве филлеров. Постоянная obturация корневых каналов, одними лишь пастами, считается неэффективным методом obturации корневых каналов [25]. При этом наиболее эффективными методами obturации в современной эндодонтии являются различные подходы, используемые в качестве obturационного материала филлеры и силеры.

### **1.6. Актуальные методы пломбирования корневых каналов**

Методы obturации корневых каналов можно разделить на две группы: метод холодной компакции, метод горячей компакции. К методам холодной компакции относятся: метод одного штифта на силерах эпоксидных смол; метод одного штифта на биокерамике; различные способы латеральной конденсации. К методам горячей компакции можно отнести: метод вертикальной компакции; метод непрерывной волны; метод obturации на носителе, а также гибридную методику obturации.

Сущность метода одного штифта заключается во введении предварительно припасованного гуттаперчевого штифта с твердеющей пастой. Преимущество данного метода над другими методиками obturации корневых каналов — это простота и низкая стоимость. Недостатки данного метода заключается в негерметичной obturации корневых каналов [5]. В попытке устранить основной недостаток методики obturации одного штифта, компании (ProTaper, WaveOne, Reciproc, Revo-S и др.) начали выпускать калиброванные apical focus гуттаперчевые штифты, соответствующие размеру финишных никель-титановых ин-

струментов. Этот подход должен был позволить плотно obtурировать корневой канал конусной формы гуттаперчевым конусным откалиброванным штифтом. Но зная сложную анатомию систему корневых каналов, трехмерная полноценная obtурация корневых каналов не возможна, при obtурации методом одного штифта. [22, 38].

Методика латеральной конденсации является простой, доступной и достаточно эффективной методикой obtурации. Этот подход считается достаточно эффективным в простых корневых каналах [95], и может быть использован в большинстве клинических ситуаций, обеспечивая предсказуемый контроль длины. Известно, что при использовании методики латеральной конденсации требуется больший объем силера, чем при остальных методах вертикальной горячей компакции. Характерны и поры после усадки силера [182].

При сложной анатомии корневых каналов (C-Shape, множество анастомозов, несколько апикальной констрикции) эффективность obtурации методом латеральной конденсации, остается спорным вопросом [153]. Недостатками латеральной компакции являются высокий риск образования трещины корня во время конденсации с чрезмерным апикальным давлением на спредер, неоднородность массы, отсутствие адаптации гуттаперчи к стенкам корневого канала и противопоказания для использования данного метода при внутренней резорбции корня [15]. Тепло или растворители были рекомендованы в качестве средства улучшения адаптации гуттаперчи без необходимости приложения чрезмерных усилий. Модификации латеральной конденсации с использованием тепла и растворителя для улучшения адаптации полезна для исключения чрезмерного давления, с целью снизить вероятность появления трещины.

Для устранения таких недостатков, как отсутствие адгезии гуттаперчевого штифта к стенкам корневого канала и невозможность применения к щелевидным каналам, стандартная латеральная конденсация была модифицирована. Для размягчения мастер штифта используются растворители. Такая методика отличается от стандартной методики латеральной компакции тем, что мастер штифт подбирается на 2 мм короче рабочей длины. Перед припасовкой в корневой канал, ма-

стер штифт размягчается растворителем (хлороформ, ксилол, эфирное масло). Недостатками этой модификации являются: высокий риск попадания агрессивных растворителей в периодонт, отсутствие контроля введения мастер штифта (перепломбировка или недопломбировка), появление пор в результате попадания остатка растворителя на поверхность гуттаперчи [224, 257].

Латеральная obturation апикальной части, устьевая и средняя часть заполняется разогретой гуттаперчей. При применении этой модификации подбирается гуттаперчевый мастер штифт конусом 04/06, который вводится на расстояние в 1 мм до достижения рабочей длины. Затем латеральной конденсацией obturруется апикальная часть, плагером срезается в устьевой части. Горячий плагер непрерывными движениями перемещается апикально по упору (не доходя до 2 мм от рабочей длины). Гуттаперча в средней и устьевой части извлекается, и затем полости заполняются разогретой гуттаперчей. По сравнению с классическим методом латеральной obturation, данная модификация обеспечивает более плотную obturation, повышенную адгезию к стенкам канала и пломбировку овального канала в средней части канала [246]. К недостаткам метода можно отнести сложности в подборе конусного мастер штифта, риск перегрева периодонта, риск выведения в периодонт гуттаперчевого массива, слабую obturation в апикальной области [226].

Машинная латеральная конденсация использует наконечник с зафиксированным спредером из никель-титанового сплава. Такая конструкция производит реципрокные колебания с апикальным давлением. Спредер вводится на расстояние в 1 мм до достижения рабочей длины. Преимуществами машинной латеральной конденсации по сравнению с классической методикой латеральной конденсации, являются: размягчение, в результате реципрокных движений обеспечивающее глубокое проникновение [51], более плотная obturation [1, 13], экономическая эффективность, тепловая безопасность, возможность контроля рабочей длины. Недостатки присущие классическому методу латеральной компакссии, характерны и для машинного варианта: сложность, высокая вероятность возникновения

трещин корня [48], невозможность заполнения щелевидных каналов и отсутствие адаптации гуттаперчи к стенкам корневого канала.

При использовании латеральной конденсации с ультразвуковой активацией мастер штифт припасовывается на 1 мм короче рабочей длины. В качестве спредера для боковой конденсации используется ультразвуковая гладкая насадка, которая вводится в канал на расстояние в 1 мм до достижения рабочей длины. В образовавшееся пространство вводятся дополнительные штифты. С каждой боковой ультразвуковой конденсацией гуттаперчи ультразвуковая насадка смещается коронально.

Латеральная obturation с ультразвуковой компакцией по сравнению с классической методикой дает меньшее количество пор, позволяет достичь лучшей адгезии, позволяет небольшое проникновение в щелевидное пространство овальных каналов. Однако, если проводить ультразвуковую конденсацию в канале более 10 секунд на мощности 50%, есть высокий риск перегрева зуба. Отсутствие контроля нагрева, быстрое остывание и риск извлечения гуттаперчевого массива из корневого канала можно отнести к недостаткам подхода [72].

В зубах с незавершенным формированием верхушки корня диаметр корневого канала превышает размер самых больших гуттаперчевых штифтов. В таких случаях изготавливается индивидуальный мастер штифт, методом спрессовывания нагретых гуттаперчевых штифтов, путем введения и выведения, что в свою очередь массив гуттаперчевых штифтов приобретает форму корневого канала. После остывания индивидуального мастер штифта, корневой канал пломбируется методом латеральной компакции. Недостатками данного метода являются: высокий риск трещины зуба, риск выведение пломбировочного материала в периодонт, апикальное микроподтекания [155].

При применении тепловой боковой конденсации проводится классическая латеральная obturation до середины корневого канала, затем вводится нагретый спредер, за которым следуют дополнительные штифты. К преимуществам данного метода можно отнести более плотную obturation в сравнении с классическим методом obturation и заполнение щелевидных каналов. Недостатками этого

метода являются возможный перегрев, риск трещины, отсутствие возможности трехмерной obturации, извлечение гуттаперчевого массива и частые поры [221]. С целью устранения недостатков описанных выше методов obturации, была предложена техника obturации пластифицированной гуттаперчей. Метод вертикальной компакции обеспечивает трехмерную obturацию корневого канала [52] при использовании стандартизированной конусной гуттаперчи. Конусный гуттаперчевый штифт подбирается в соответствии с размером мастер-файла. После припасовки конусного гуттаперчевого штифта с силером, вводится термомплагер на расстояние в 3–5 мм до достижения рабочей длины. Излишки гуттаперчи извлекаются с термоплагером, а остывающую гуттаперчу уплотняют холодным плагером. Остальная часть канала obtурируется введением дополнительной порции гуттаперчи, его размягчением термоплагером, а потом его уплотнением с помощью холодного плагера.

По данным литературы, метод вертикальной компакции обеспечивает лучшее качество obturации при использовании очень малого количества силера на поверхности корня и отличную адаптацию в сравнении с методом латеральной компакции [89, 104]. Этот метод был предложен в Н. Schilder в 1967 году. Важным аспектом высокотемпературной гуттаперчевой obturации был ее низкий апикальный контроль. Было отмечено, что при использовании метода вертикальной компакции необходимо учитывать точность и опыт врача, поскольку при неправильном использовании obturационный материал выходил в большом объеме в периапикальную область [219], вызывая ожог периодонтальной связки [36].

Техника непрерывной волны была разработана в стремлении сделать высокоэффективные методики горячей obturации корневых каналов более простыми и доступными. Эта работа привела и к созданию термоплагеров [9]. С введением в практику термоплагеров с контролем температуры и функцией вибрации вероятность ожога периодонтальной связки была сильно снижена.

При obturации корневого канала в соответствии с техникой непрерывной волны разогретым термоплагером одномоментно размягчается и конденсируется гуттаперча в апикальной части канала, при этом плагер располагается на расстоя-



нии в 3–5 мм до достижения рабочей длины [3]. Средняя и устьевая же части корневого канала пломбируются порционно инжектором. Данная методика обеспечивает трехмерную obturацию [18] С-каналов, уступов, разветвлений, парусов, пульпопарадонтальных и межканальных анастомозов. Несмотря на значительную эффективность и простоту, этот метод имеет и недостатки: он достаточно дорог, несет в себе риск перегрева периодонта [11] и выведения пломбирвочного материала за апикальное отверстие, оставляет поры в корневом канале. При всех своих преимуществах, метод не нашел широкого клинического применения.

Метод obturации на носителе был разработан американским ученым-стоматологом W. В. Jonson в 1978 году [14]. Obturация производится предварительно пластифицированной гуттаперчей на носителе, который в свою очередь состоит из никель-титанов, пластмасс, гуттаперчи. Наиболее популярным среди клиницистов является система Guttacore. Она состоит из obtуратора, гуттаперчевого стержня, состоящего из б-гуттаперчи и покрытого а-гуттаперчей, верификатора, никель-титанового инструмента для подбора obtуратора, печи для разогрева эндоobtуратора. В предварительно подготовленный корневой канал вводится силер в области устья, затем разогретый obtуратор вводится на всю рабочую длину корневого канала. Преимущество данной методики заключается в трехмерной obturации канала на всем протяжении за короткий промежуток времени [124].

Система Термафил по сравнению с методом холодной латеральной конденсации обладает лучшей адаптацией к стенкам корневого канала, большей степенью однородности и лучшей obturацией в искривленных каналах [118]. Были и отчеты об отсутствии существенной разницы по апикальному герметизму между системой Термафил и холодной латеральной конденсацией [108]. Система Термафил по сравнению с тремя методами конденсации (холодная латеральная компакция, горячая вертикальная компакция и софт-кор) показывала гораздо более высокую частоту корональной утечки. Существенного различия в корональной и апикальной утечке между термафил и софткор не было [100]. Было обнаружено на микроскопе пористой структуры термафил и софткор, что объясняют большое количество выведения obtурационного материала за апикальное сужение. [99].

С целью создать высокоэффективный метод obturации, не имеющий недостатков латеральной и вертикальной компакции и при этом сохраняющий преимущества обоих методов obturации, была разработана гибридная методика obturации. При использовании данной методики апикальная часть корневого канала в пределах 5 мм от рабочей длины obtурируется по классической схеме латеральной компакции с применением никель-титановых спредеров. Затем вводится разогретый термоплагер в корневой канал установленной глубины с постоянным апикальным давлением. Остатки гуттаперчи извлекают, а затем холодными плагерами проводится в апикальном направлении компакция остывающей гуттаперчи. Следующим шагом является внесение новой порции гуттаперчи нифектором и компакция в апикальном направлении. Эту процедуру продолжают, пока гуттаперча не достигнет устьевой части корневого канала. При сравнении с методом холодной латеральной, вертикальной горячей конденсации и методом Термафил гибридная техника obturации демонстрирует лучшую трехмерную obturацию, повышенную адаптацию и отсутствие риска перегрева периодонта [64]. Гибридный метод obturации превосходит другие четыре метода obturации (холодная латеральная компакция, горячая вертикальная компакция, термафил и софткор) в отношении апикальной утечки [100]. Недостатком данной методики является сложность манипуляции и высокая стоимость. Obturационные материалы и методы obturации претерпели значительные изменения, но все еще остается актуальным вопрос комбинирования техник obturации, изучения качества апикального герметизма методов obturации.

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Лабораторное исследование эффективности применения различных сольвентов и ирригационных растворов при эндодонтическом лечении

#### 2.1.1. Изучение растворяющего действия различных сольвентов

Проведено изучение в эксперименте скорости растворения силера и гуттаперчевого филлера под действием различных эфирных масел, которые использовались в качестве сольвентов.

Материалом исследования являлись эфирные масла фирмы Аспера (Россия): гвоздичное, эвкалиптовое, мятное, апельсиновое и грейпфрутовое (Таблица 2).

Таблица 2 – Химический состав эфирных масел

<i>Эфирные масла</i>	<i>Состав</i>
Гвоздичное масло	<u>Эгенол</u> (более 70 %), <u>ацетат эвгенола</u> (до 13 %), <u>кариофиллен</u> , <u><math>\beta</math>-мирцен</u> , <u><math>\alpha</math>-</u> и <u><math>\beta</math>-пинены</u> , <u>иланген</u> , <u><math>\gamma</math>-селинен</u> , <u><math>\beta</math>-элемен</u> , <u>гептанол</u> , <u>нонанол</u> , <u>бензиловый спирт</u> , <u>хавикол</u> , <u>бензальдегид</u> , <u>ванилин</u> , <u>фурфурол</u> и <u>фурфуриловый спирт</u> , <u>метилбензоат</u>
Мятное масло	Ментол 50% и 35% ментона, лимонен, цинеол, пинен, менто-фуран, тимол, ментон, карвакрол, карофилен
Эвкалиптовое масло	Пиперитон 48,2% Монотерпены: альфа – фелландрен 24,9%, альфа – туйен 3,3%, альфа – терпинен 1,2%, лимонен 0,4%, гамма – терпинен 0,8%, транс – бета – оцимен 0,5%, пара – цимен 4,3%, терпинолен 2,4% Сесквитерпены: гамма – элемен 0,5%, лонгифолен 0,9% Оксиды: 1,8 – цинеол 2,3% Монотерпенолы: терпинен – 4 – ол 4,4%, альфа – терпинеол 1,1%, цис – пиперитол 0,9%, линалол 0,6%
Апельсиновое масло	<u>Мирцен</u> , <u><math>\alpha</math>- и <math>\beta</math>-терпинены</u> , <u><math>\alpha</math>-терпинолен</u> , <u>фелландрен</u> , <u>n-цимол</u> , <u><math>\alpha</math>-пинен</u> , <u><math>\alpha</math>-туйен</u> , <u>камфен</u> , <u>сабинен</u> , <u>фарнезен</u> , <u><math>\alpha</math>- и <math>\beta</math>-кубебены</u> , <u><math>\alpha</math>- и <math>\beta</math>-копаены</u> , <u><math>\beta</math>-элемен</u> , <u>кариофиллен</u> , <u><math>\alpha</math>- и <math>\beta</math>-гумулены</u> , <u>валенсен</u> , <u><math>\delta</math>-кадинен</u> , <u><math>\alpha</math>- и <math>\beta</math>-илангены</u> , <u><math>\alpha</math>-терпинеол</u> , <u>цитронеллол</u> , <u>линалоол</u> , <u>нерол</u> , <u>гераниол</u>
Грейпфрутовое масло	Лимонен, октаналь, деканаль, нуткатон, гераниол, линалоол, мирцен, пинен, цитраль и т.д. В эфирном масле грейпфрута содержится не менее 0,2% нуткатона, и не менее 90% лимонена

Изучение скорости растворения филлера и силера проводились *in vitro*.

В процессе исследования использовали 15 одинаковых гуттаперчевых штифтов 35/02 (META BIOMED, Korea), которые были разделены на 5 групп по 3 штифта в каждой группе.

В первой группе изучали растворяющее действие гвоздичного масла, во второй – эвкалиптового масла, в третьей – грейпфрутового масла, в четвертой – мятного масла, в пятой – апельсинового масла.

При исследовании растворяющего действия эфирных масел в отношении гуттаперчевого филлера, в чашку Петри заливали исследуемое эфирное масло, в количестве 0,5мл. Затем в масло, помещенное в чашку Петри, погружался гуттаперчевый штифт. С момента погружения гуттаперчевого штифта в исследуемое эфирное масло, засекалось время растворения на фото/видео носителе. В процессе растворения, для имитации процесса химико-механической распломбировки, каждые 10 сек проводилось растолачивание гуттаперчевого штифта с помощью гладилки. Процесс растворения изучался в течение 110 сек. Оценивалось время начала размягчения и полного растворения гуттаперчевых штифтов в исследуемых эфирных маслах. Для частоты эксперимента в каждой группе было проведено по 3 исследования.

При исследовании растворяющего действия эфирных масел в отношении силера, в качестве силера использовали АН plus (Densply Sirona, USA), пасту А и пасту В замешивали в соотношении 1:1 металлическим шпателем на стеклянной пластине до гомогенной консистенции. Через 48 часов застывший силер делили на 5 равных частей и помещали в чашку Петри. В чашке Петри на застывший силер, с помощью пипетки, капали исследуемое эфирное масло, в количестве 3 капли (0,2мл). Результат растворяющего действия эфирных масел в отношении силера оценивали в течение 10 мин. Растворяющее действие эфирных масел фиксировалось с помощью фото/видео носителя. Для частоты эксперимента растворяющее действие каждого эфирного масла было проверено трижды.

### **2.1.2. Определение коэффициента поверхностного натяжения различных сольвентов и ирригационных растворов**

Материалами для исследования сольвентов послужили 5 видов эфирных масел (Аспера, Россия): гвоздичное, эвкалиптовое, мятное, апельсиновое и грейпфрутовое. Кроме того, определяли коэффициент поверхностного натяжения следующих ирригационных растворов: раствор гипохлорита натрия в концентрации 1%, 3.25% и 5%, мицеллярная вода (Garnier, Россия). Мицеллярная вода является очищающим средством, содержащим поверхностно-активные вещества (мицеллы). Состав мицеллярной воды Garnier: аква/вода, гексиленгликоль, глицерин, полоксамер 184, динатриевый кокоамфодиацетат, динатриевый эдта, бромид миртримония. При определении поверхностного натяжения различных сольвентов и ирригационных растворов в качестве контроля использовали дистиллированную воду.

Для измерения коэффициента поверхностного натяжения различных сольвентов и ирригационных растворов использовали аппарат Ребиндера, который представляет собой пробирку с насосом, закрытую пробкой, в которую вставлена трубка пипетки. Пробирка соединена с капиллярной трубкой и манометром. Манометр представляет собой U-образную трубку, наполненную водой и снабженную миллиметровой шкалой. Один конец капиллярной трубки находился в пробирке, а другой помещался на поверхность исследуемой жидкости. В пробирку наливалось небольшое количество дистиллированной воды и в неё погружался капилляр, который плотно прикрывал сосуд пробкой. Проверялось подсоединение к манометру и к водоструйному насосу, осторожно пускались капли воды, обеспечивая нужную степень разрежения в сосуде. Затем повторно отмечалось максимальная разность давления, показываемая манометром в момент отрыва пузырька воздуха от капилляра и поверхности исследуемой жидкости. Показания манометра определялись затраченным давлением на пузырек воздуха в жидкости, и, сле-

довательно, мерой натяжения. Измерения поверхностного натяжения каждой исследуемой жидкости проводили 10 раз последовательно.

Для определения коэффициента поверхностного натяжения использовали формулу Ребиндера (Формулы 1–3).

$$P_0 = h_1(\max) - h_2(\min), \quad (1)$$

$$P = h_1(\max) - h_2(\min), \quad (2)$$

где  $P_0$  – плотность воды;

$P$  – плотность исследуемой жидкости;

$h_1(\max)$  – максимальный уровень жидкости в манометре;

$h_2(\min)$  – минимальный уровень жидкости в манометр;

$$G = G_0/P_0 \times P, \quad (3)$$

где  $G_0$  – коэффициент поверхностного натяжения воды при заданной температуре;

$G$  – искомый коэффициент поверхностного натяжения;

$P$  – плотность исследуемой жидкости.

Исследования проводились при температуре 26 °С; при такой температуре коэффициент поверхностного натяжения воды составляет  $G_0 = 71,8$  дин/см.

### **2.1.3. Изучение моющей активности ирригационных растворов**

Изучали моющую активность следующих ирригационных растворов: растворы гипохлорита натрия в концентрациях 5%, 3,25% и 1%. Кроме того, исследовали моющую активность мицеллярной воды (Garnier Россия). При этом, 5%, 3,25% растворы гипохлорита натрия и мицеллярная вода были комнатной температуры, а 1% раствор гипохлорита натрия был нагрет до 45°С.

Моющую активность каждого ирригационного раствора оценивали по отношению к грейпфрутовому эфирному маслу.

В каждой исследуемой группе использовали отдельную чашку Петри, в которую с помощью инсулинового шприца помещали 0,3мл грейпфрутового

эфирного масла и 0,3 мл исследуемого ирригационного раствора. Эфирное масло и ирригационный раствор смешивали между собой.

При проведении исследования использовали фото/видео фиксацию химической реакции.

#### **2.1.4. Изучение эффективности различных способов распломбировки корневых каналов зубов, ранее запломбированных с использованием гуттаперчи**

Исследование проводили на удаленных зубах, до этого не подвергавшихся эндодонтическому лечению. Раскрывали полость зуба, проводили механическую и медикаментозную обработку корневых каналов, с использованием 3,25% раствора гипохлорита натрия и 17% ЭДТА. Корневые каналы пломбировали методом латеральной конденсации, с использованием гуттаперчиных филлеров, в качестве силера использовали материал AN plus (Densply Sirona, USA). Через 48 часов после пломбирования корневых каналов приступали к изучению эффективности различных способов распломбировки корневых каналов. Исследовали 4 способа распломбировки корневых каналов зубов.

В зубе 3.1 (образец № 1) распломбировку корневого канала проводили только ручными и машинными инструментами, для ирригации корневого канала использовали дистиллированную воду.

В зубе 4.1 (образец № 2) распломбировку корневого канала проводили с использованием грейпфрутового эфирного масла в сочетании с ручными и машинными инструментами. После полноценной распломбировки проводили ирригацию корневого канала 3,25% раствором гипохлорита натрия.

В зубе 3.2 (образец № 3) распломбировку корневого канала проводили с использованием грейпфрутового эфирного масла в сочетании с ручными и машинными инструментами. Ирригацию корневого канала проводили только дистиллированной водой для удаления опилок, без использования раствора гипохлорита натрия и ЭДТА.

В зубе 4.2 (образец № 4) распломбировку корневого канала проводили с использованием грейпфрутового эфирного масла в сочетании с ручными и машинными инструментами. Ирригацию корневого канала проводили 1% раствором гипохлорита натрия, нагретым до 45° С и 17% ЭДТА.

Во всех исследуемых зубах высушивание корневых каналов проводилось с использованием абсорберов.

После распломбировки корневых каналов, из исследуемых зубов готовились образцы для проведения сканирующей электронной микроскопии. Образцы готовили путем распиливания корня с помощью сепарационного диска. Размеры готового образца составляли 0,5 см на 0,5 см. Затем на металлический диск наклеивали углеродный двусторонний скотч, на который помещали исследуемый образец.

Сканирующая электронная микроскопия проводилась на растровом микроскопе JEOLJSM-6480LV (фирмы «JEOL, Япония), в низковакуумном режиме, который позволял исследовать образцы без напыления токопроводящим слоем (Рисунок 1).

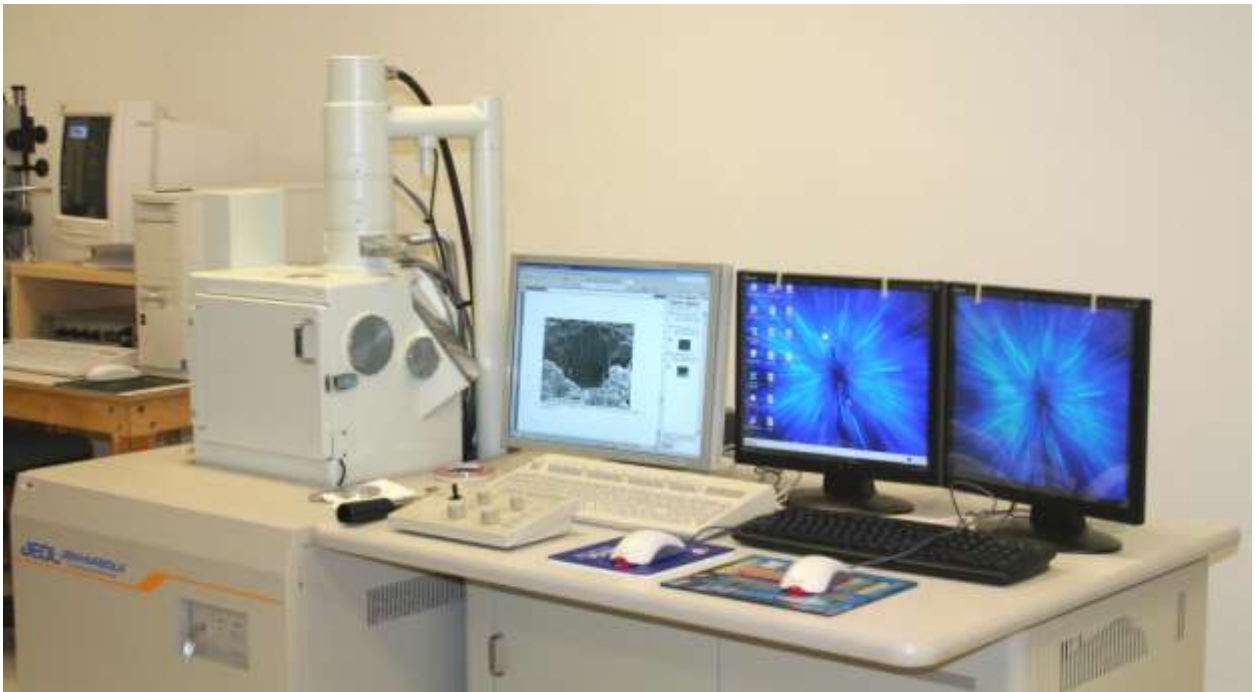


Рисунок 1 – Электронный сканирующий микроскоп JEOL JSM-6480LV фирмы «JEOL»



## **2.2. Лабораторное изучение износостойкости никель-титановых инструментов**

Несмотря на существующие правила использования NiTi инструментов, а также наличие рекомендаций производителей по их применению, нередко случаи поломки никель-титановых файлов внутри корневого канала, что может привести к необходимости удаления зуба и существенно усложнить проведение качественного эндодонтического лечения. Причинами поломки NiTi инструментов внутри корневого канала чаще всего являются усталость при циклическом изгибе или разрушение при кручении, а также комбинация обоих факторов. Поскольку разрушение файла может произойти без видимых внешних признаков изменения его структуры, поломку никель-титанового инструмента можно предотвратить, определив предел циклической усталости металла. На сегодняшний день не существует общепринятой спецификации или международного стандарта для проверки сопротивления циклической усталости эндодонтических инструментов, а информация производителя о допустимых нагрузках при использовании инструментов не всегда соответствует их характеристикам, проявляющимся на практике.

### **2.2.1. Изучение циклической усталости никель-титановых инструментов**

Для изучения циклической усталости никель-титановые инструменты испытывались на механическую нагрузку, затем подвергались химической и термической обработке, т.е. полный цикл циклической нагрузки включал 3 теста: тест на механическую нагрузку, тест на химическую нагрузку и тест на термическую нагрузку инструмента. Если инструмент при прохождении первого цикла циклической нагрузки не ломался, он проходил повторные полные циклы циклической нагрузки до тех пор, пока не наступал отлом эндодонтического инструмента.

Циклическая усталость была изучена на 51 никель-титановом инструменте, относящихся к 5 различным системам: Mtwo(VDW), Protaper next (Densplay), Protaper gold (Densplay), Coxo SC Pro(SOCO), S-flexi (GEOSOFT) (Таблица 3).

Тест на механическую нагрузку проводили с использованием, специально разработанного, симуляционного блока, который был смоделирован в программе Fusion 360 версия 2.0.10564. Блок был фрезерован из алюминиевого сплава на фрезерном станке с числовым программным управлением модели Roland MDX 40-F. Фрезеровка производилось на оборотах шпинделя 12000 об/мин., со скоростью резания 30 мм/сек.

Таблица 3 – Инструменты для определение циклической усталости

<i>SC SC PRO</i>		<i>Mtwo</i>		<i>Protaper Next</i>		<i>Protaper Gold</i>		<i>S-flexi</i>	
Размеры	Кол-во	Размеры	Кол-во	Размеры	Кол-во	Размеры	Кол-во	Размеры	Кол-во
02/19	3 шт.	10/04	3 шт.	X1	3 шт.	S1	3 шт.	04/20	3 шт.
04/20	3 шт.					S2	3 шт.	04/25	3 шт.
04/25	3 шт.					F1	3 шт.	04/30	3 шт.
06/25	3 шт.					F2	3 шт.	04/35	3 шт.
04/35	3 шт.					F3	3 шт.	06/25	3 шт.

Симуляционный блок состоит из 5 каналов, дренажных отверстий для выходов жидкости, крепежных отверстий и прозрачной крышки из оргстекла. Каналы симуляционного блока имеют разные изгибы, которые формировались, опираясь на классификацию вариации каналов Vertucci. Каналы в симуляционном блоке имеют изгиб 90°, 30°, 45°, S-образный изгиб по 45°, тройной изгиб по 45°.

Тест на механическую нагрузку, с помощью симуляционного блока, проводили, максимально приближая к условиям механической нагрузке, возникающей при работе никель-титановыми инструментами в корневых каналах зубов на клиническом приеме.

Официальная рекомендация производителей по количеству использования инструментов в корневых каналах:

1) Mtwo (VDW) –7-8 каналов: 10/04–28 0rpm 1,2 n/cm;

2) Protaper next (Densplay) –7-8 каналов: X1 – 300 rpm 2,0 n/cm;

3) Protaper gold (Densplay) не более 2 каналов; SX – 300 rpm 5,0 n/cm; S1 – 300 rpm 5,0 n/cm; S2 – 300 rpm 1,5 n/cm; F1 – 300 rpm 1,5 n/cm; F2 – 300 rpm 3,0 n/cm; F3 – 300 rpm 3,0 n/cm;

4) Сохо SC Pro (SOCO) –15 каналов: 02/19 375 rpm 1,5 n/cm: 04/20 375 rpm 1,5 n/cm; 04/25 375rpm 1,5 n/cm; 06/25 375rpm 1, 5n/cm; 04/35 375 rpm 1,5 n/cm;

5) S-flexi (GEOSOFT) – 7-8 каналов: 04/20 400 rpm 1,5 n/cm: 04/25 400 rpm 1,5 n/cm; 04/30 400 rpm 1,5 n/cm; 04/35 400 rpm 1,5 n/cm.

*Тест на механическую нагрузку.* Используя (никель-титановый инструмент) на симуляционном эндодонтическом блоке, проводилось вертикально-поступательное пассивное введение файла с вращением (обороты и торк) в каналы симуляционного блока по 38–40 сек в каждом канале.

С момента старта до отлома высчитывалось количество оборотов и время.

Для определения количества произведенных оборотов инструментами до отлома использовались формулы (4) и (5)

$$V_0/T_0 = n, \quad (4)$$

где  $V_0$  – заявленные обороты в минуту;

$T_0$  – количество секунд в минуте;

$n$  – количество оборотов в минуту;

$$n \times T_1 = V_1, \quad (5)$$

где  $n$  – количество оборотов в минуту;

$T_1$  – время отлома;

$V_1$  – кол-во оборотов.

*Тест на химическую нагрузку* проводился путем погружения файла в 3,25% раствор гипохлорита натрия на 2 часа. Затем файл промывался водой и снова погружался в дезинфицирующий раствор (5%-й раствор аламинола) на 45 минут.

*Тест на термическую нагрузку.* Запакованный эндодонтический инструмент был подвержен термоциклированию – автоклавированию под воздействием 134 °С, 1,2 атм., на 45 минут.

### **2.2.2. Рентгеноспектральный анализ никель-титановых инструментов до и после циклической нагрузки**

Для проведения исследования использовали 96 никель-титановых инструментов. Рентгеноспектральное исследование проводили до (новые, запечатанные в заводской упаковке, инструменты) 48 инструментов и после того, как инструмент подвергался циклическим нагрузкам (до отлома инструмента) 48 инструментов. Циклическая нагрузка включала 3 теста: тест на механическую нагрузку, тест на химическую нагрузку и тест на термическую нагрузку инструмента.

В исследовании использовались COXO SC PRO 04/35 (SOCO, China) 24 шт., S-flexi 04/30 (Geosoft, Russia) 24 шт., Protaper Gold S1 (Densply Sirona, USA) 24 шт., Mtwo 10/04 (VDW, Germany) 12 шт., Protaper Next X1 (Densply Sirona, USA) 12 шт.

Для проведения рентгеноспектрального анализа поверхности никель-титановых инструментов, инструмент или отломок инструмента обезжиривали изопропиловым спиртом и приклеивали на предметный столик с помощью углеродного скотча (Рисунок 2).

Кроме того, проводили рентгеноспектральный анализ черного осадка, который получали путем фильтрования 3.25% раствора гипохлорита натрия, после пребывания в нем в течение 45 мин исследуемого никель-титанового инструмента.

Рентгеноспектральный анализ проводился на микроскопе JEOL JSM-6480LV (фирмы «JEOL», Япония) с энергодисперсионной приставкой (EDX) X-MAX (фирмы Oxford Instruments (площадь детектора 80 мм<sup>2</sup>), Великобритания) (Рисунок 1).



Рисунок 2 – Изображение предметного столика с прикрепленными образцами

Изображения были получены во вторичных электронах. Спектральное разрешение порядка 133 эВ на линии Mn K $\alpha$ , < 65 эВ на линии C K $\alpha$ . Пределы обнаружения элементов обычного порядка 0,1–0,5%. Локальность 0,5–5 мкм по поверхности, 0,01–0,5% по глубине. Измерения проводили при ускоряющем напряжении 20 кВ. Данные обрабатывали с помощью программы AztecEnergy 3.0.

### **2.2.3. Сканирующая электронная микроскопия поверхности поперечных отломов никель-титановых инструментов**

В исследование было включено 102 образца поперечных отломков эндодонтических никель-титановых инструментов пяти различных производителей. Исследуемые образцы были разделены на две группы: 1) отломки никель-титановых инструментов без циклической нагрузки – 51 инструмент; 2) отломки никель-титановых инструментов после циклической нагрузки – 51 инструмент. В качестве образцов использовались COXO SC PRO (SOCO, China) 30 шт. (15 без нагрузки и 15 после нагрузки), S-flexi (Geosoft, Russia) 30 шт. (15 без нагрузки и 15 после нагрузки), Protaper Gold (Densply Sirona, USA) 30 шт. (15 без нагрузки и 15 после нагрузки), Mtwo (VDW, Germany) 6 шт. (3 без нагрузки и 3 после нагрузки), Protaper Next (Densply Sirona, USA) 6 шт. (3 без нагрузки и 3 после нагрузки).

Отломки инструментов после нагрузок – это были инструменты, используемые при проведении тестов по определению устойчивости к циклической нагрузке. Поперечный отлом инструмента без нагрузки осуществляли с помощью плоскогубцев. Перед измерениями образцы обезжиривались изопропиловым спиртом и приклеивались на предметный столик углеродным скотчем, как показано на Рисунке 2.

Исследования поверхности поперечных отломов образцов эндодонтических инструментов были проведены на микроскопе JEOL JSM-6480LV (фирмы «JEOL», Япония) с энергодисперсионной приставкой (EDX) X-MAX фирмы Oxford Instruments (площадь детектора 80 мм<sup>2</sup>) (Рисунок 1). Изображения были получены во вторичных электронах (SEI) и в обратно отраженных электронах (BEC). Полученные данные обрабатывали с помощью программы AztecEnergy 3.0.

#### **2.2.4. Капиллярная дефектоскопия поверхности никель-титановых инструментов**

Для проведения исследования использовали 10 никель-титановых инструментов различных производителей, а именно: COXO SC PRO (02/19, 04/20, 04/25, 06/25, 04/35), Protaper Gold (S1, S2, F1, F2, F3), которые были подвержены 70–80% циклической нагрузке от 100% возможной, возникающей при отломе инструмента.

Для проведения капиллярной дефектоскопии на поверхность инструмента наносили очиститель SKC-S Cleaner/remover (MAGNAFLUX Англия) на 20 мин. Остатки очистителя удаляли струей воздуха из пистолета. Затем наносили пенетрант SKL-SP2 Red Penetrant (MAGNAFLUX Англия), который выдерживали на поверхности инструмента в течение 10 минут. Высыхание пенетранта не допускалось. Затем с помощью баллончика-спрея наносили проявитель SKD-S2 Spotcheck (MAGNAFLUX Англия) на поверхность инструмента на 15–20 минут. В результате химической реакции проявителя с пенетрантом проявлялось окрашивание де-

фекта, что визуально позволяло определить признаки начинающегося отлома. Изображения никель-титановых инструментов при проведении капиллярной дефектоскопии получены с помощью цифрового микроскопа со штативом Микмед 5.0 (Микромед, Китай).

## **2.3. Клинико-лабораторное изучение эффективности гибридного способа пломбирования корневых каналов зубов**

### **2.3.1. Лабораторное изучение эффективности гибридного способа пломбирования корневых каналов зубов**

Лабораторное исследование было проведено на 36 удаленных резцах нижней челюсти. В удаленных зубах была раскрыта полость зуба, проведена механическая и медикаментозная обработка корневых каналов, с последующим их пломбированием.

В зависимости от способа пломбирования корневых каналов зубов, удаленные зубы были распределены на 3 группы (по 12 зубов в каждой):

- 1) группа № 1 – зубы запломбированы вертикальной компакцией (конденсацией);
- 2) группа № 2 – зубы запломбированы гибридной техникой;
- 3) группа № 3 – зубы запломбированы латериальной компакцией (конденсацией).

Перед пломбированием проводили механическую обработку корневых каналов зубов с использованием ручных инструментов, расширяя канал до размера № 15 (K-file) (Mani, INC, Japan). Затем корневой канал обрабатывали машинными инструментами Mtwo 10/04 (VDW, Germany), – Protaper Next X1 (Densply Sirona, USA), S-flexi 04/30 и 04/35 (GEOSOFT, RUSSIA), после чего проводили калибровку апикальной констрикции ручными инструментами до размера № 40 (K-file) (Mani, INC, Japan).

Для ирригации корневых каналов зубов были использованы специально разработанные: устройство для ирригации корневых каналов (патент на полезную модель № 211836 Российская Федерация) и съемная насадка для медикаментозной обработки корневого канала (патент на полезную модель № 210678 Российская Федерация).

Универсальная автономная система подачи ирригационной жидкости состоит из универсального крепления, системы ирригационных трубочек, помпы, переключателя между резервуарами и нагревателя.

Универсальная насадка крепления на головку эндомотора состоит из шайбы, с возможностью регулирования размера под головку эндомотора, впускного канала для крепления системы ирригационных трубочек, выпускного канала для ирригации корневых каналов по эндодонтическому никель-титановому инструменту.

В качестве помпы использовали перистальтический насос, управление скорости потока жидкости производили через ШИМ преобразователь, подаваемого напряжения (Рисунок 3)

Характеристики:

- напряжение: 4–6 В постоянного тока;
- размер трубки: 1×3 мм;
- скорость потока: 23 мл/мин. (макс.);
- рабочая температура: 0–50 °С;
- скорость вращения: 0,1–60 об/мин;
- монтажное отверстие: 48,5 мм;
- рабочий шум: 40+/-дБ;
- срок службы трубки; > 200ч;
- срок службы двигателя: > 500 ч;
- объём подкачки 23 мл/мин.



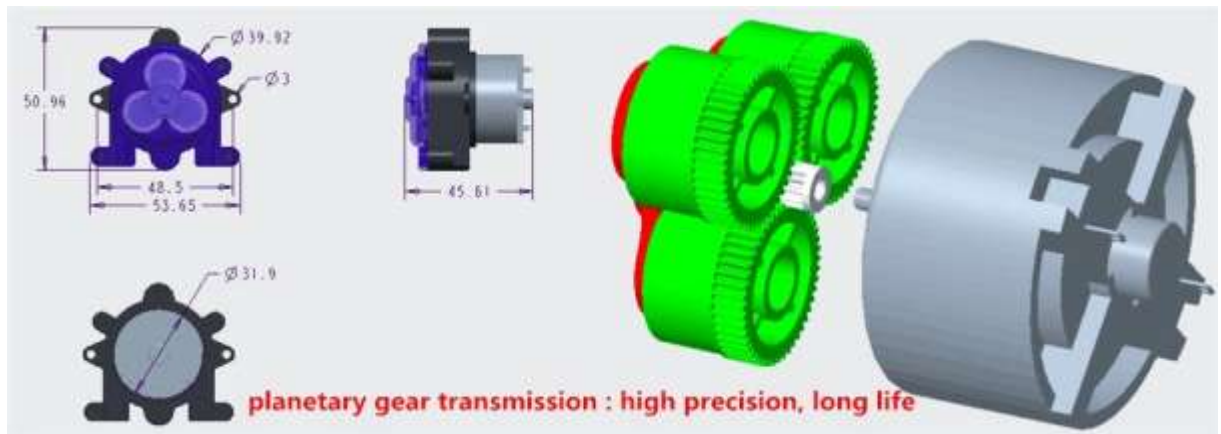


Рисунок 3 – Перистальтический насос для подкачки ирригационной жидкости

Ирригационная система состоит из 3 резервуаров и клапана переключателя между резервуарами. Первый резервуар с гипохлоритом натрия 1%, второй – с дистиллированной водой, третий – с ЭДТА. Резервуар с гипохлоритом натрия опускали в нагреватель с поддержкой заданной температуры.

Использовали также пластиковую эндодонтическую иглу, с возможностью крепления к звуковому активатору и ирригации за счет помпы.

При проведении механической обработки корневых каналов, в качестве ирриганта использовали 1 % раствор гипохлорита натрия (Omega dent, Russia), подогретый до 45<sup>0</sup> С. По окончании механической обработки корневых каналов, корневые каналы промывали дистиллированной водой, затем использовали 17% ЭДТА (META Biomed, Korea) с экспозицией на 1 минуту. После этого корневые каналы промывали 1 % раствором гипохлорита натрия, подогретым до 45<sup>0</sup> С. При проведении ирригации корневых каналов после механической обработки, использовали звуковую активацию ирригационных растворов с помощью пластиковой эндодонтической иглы. Корневые каналы высушивали бумажными абсорберами. Затем приступали к пломбированию (обтурации) корневых каналов зубов.

В группе № 1 корневые каналы обтурировали способом вертикальной компакции гуттаперчевыми штифтами (META BIOMED, Korea) и силером на основе эпоксидной смолы AN plus (Densply Sirona, USA). Обтурацию проводили с помощью горячего плагера GuttaEst (Geosoft, Russia) и инжектора GuttaFill (Geosoft, Russia).

В группе № 2 корневые каналы obtурировали с использованием гибридного способа компакции гуттаперчевыми штифтами (META BIOMED, Korea) и силером на основе эпоксидной смолы AH plus (Densply Sirona, USA). Obtурировали корневые каналы до середины длины корневого канала способом латеральной компакции гуттаперчи, затем с помощью горячего плагера GuttaEst (Geosoft, Russia) проводили вертикальную компакцию, не доводя плагер на расстояние 5 мм до апикальной констрикции. Затем проводили вертикальную компакцию гуттаперчи холодными плагерами SSG Plugegr № 1, 2, 3 (Geosoft, Russia).

В группе № 3 корневые каналы obtурировали способом латеральной компакции гуттаперчевыми штифтами (META BIOMED, Korea) и силером на основе эпоксидной смолы AH plus (Densply Sirona, USA).

Качество obtурации корневых каналов зубов в трех исследуемых группах оценивали с помощью сканирующей электронной микроскопии. С этой целью, после завершения пломбирования корневых каналов зубов, готовили образцы для сканирующей электронной микроскопии.

С помощью алмазной зуботехнической пилы (F) (АГРИ, Россия) проводили распилы корней зубов перпендикулярно оси корня зуба в апикальной, средней и устьевой частях корня зуба.

Подготовленные образцы наклеивали на медные пластины с помощью двухстороннего электропроводного скотча, затем проводили напыление образцов платиной в атмосфере аргона (0,1–0,2 мбар) в камере катодного напыления установки Val-Тес SCD005 (Бальцерс, Лихтенштейн) в течение 130 с (Рисунок 4 и Рисунок 5).



Рисунок 4 – Слева: наклеенные образцы на медную пластину с помощью двухстороннего электропроводного скотча без напыления. Справа: наклеенные образцы на медную пластину с помощью двухстороннего электропроводного скотча после напыления платиной в атмосфере аргона



Рисунок 5 – Камера катодного напыления установки Val-Тес SCD005 (Бальцерс, Лихтенштейн)

Далее образцы исследовали на сканирующем электронном микроскопе LEO-1430 VP (Карл Цейс, Германия), в условиях высокого вакуума, с использованием 4QBSD – детектора обратноотраженных электронов или детектора вторичных электронов SE1, при комнатной температуре, ускоряющем напряжении 20 кВ и рабочем расстоянии 10–22 мм. Количественные показатели измеряли по полученным цифровым микрографиям в программе Image J (Рисунок 6).



Рисунок 6 – Сканирующий электронный микроскоп LEO-1430 VP (Карл Цейс, Германия)

### **2.3.2. Изучение клинической эффективности гибридного способа пломбирования корневых каналов зубов при лечении пульпита**

Было проведено обследование и лечение 162 пациентов с различными формами пульпита в возрасте от 18 до 65 лет. У пациентов, вошедших в исследование, наблюдались следующие формы пульпита:

K04.01 – острый пульпит;

K04.02 – гнойный пульпит (пульпарный абсцесс);

K04.03 – хронический пульпит;

K04.04 – хронический язвенный пульпит;

K04.05 – хронический гиперпластический пульпит (пульпарный полип).

В зависимости от способа пломбирования корневых каналов, больные были распределены на 3 группы по 54 человека в каждой:

– в первой группе obturation корневых каналов проводили способом латеральной конденсацией;

– во второй группе obturation корневых каналов проводили способом вертикальной конденсацией;

– в третьей группе obturation корневых каналов проводили гибридным способом конденсации.

Распределение больных с различными формами пульпита в группах по полу и возрасту представлены в Таблицах 4, 5, 6.

Таблица 4 – Распределение больных с пульпитом в первой группе по полу и возрасту

Форма пульпита	Абс.	Кол-во пациентов, %	Возраст 18–44			Возраст 45–59			Возраст 60–65		
			Кол-во, 61%	М, 58%	Ж, 42%	Кол-во, 26%	М, 58%	Ж, 42%	Кол-во, 13%	М, 58%	Ж, 42%
	54		33			14			7		
К04.01	8	14,81	4,88	2,83	2,05	2,08	1,21	0,87	1,04	0,6	0,44
К04.02	12	22,22	7,32	3,54	2,56	3,12	1,81	1,31	1,56	0,9	0,66
К04.03	14	25,93	8,54	3,54	2,56	3,64	2,11	1,53	1,82	1,06	0,76
К04.04	10	18,52	6,1	2,83	2,05	2,6	1,51	1,09	1,3	0,75	0,55
К04.05	10	18,52	6,1	2,83	2,05	2,6	1,51	1,09	1,3	0,75	0,55

Таблица 5 – Распределение пациентов с пульпитом во второй группе по полу и возрасту

Форма пульпита	Абс.	Кол-во пациентов, 100%	Возраст 18–44			Возраст 45–59			Возраст 60–65		
			Кол-во, 61%	М, 58%	Ж, 42%	Кол-во, 26%	М, 58%	Ж, 42%	Кол-во, 13%	М, 58%	Ж, 42%
	54		33			14			7		
К04.01	8	14,81	4,88	2,83	2,05	2,08	1,21	0,87	1,04	0,6	0,44
К04.02	12	22,22	7,32	3,54	2,56	3,12	1,81	1,31	1,56	0,9	0,66
К04.03	13	24,07	7,93	4,6	3,33	3,38	1,96	1,42	1,69	1,06	0,76
К04.04	11	20,37	6,71	3,89	2,82	2,86	1,66	1,2	1,43	0,83	0,6
К04.05	10	18,52	6,1	2,83	2,05	2,6	1,51	1,09	1,3	0,75	0,55

Таблица 6 – Распределение пациентов с пульпитом в третьей группе по полу и возрасту

Форма пульпита	Абс.	Кол-во пациентов, 100%	Возраст 18–44			Возраст 45–59			Возраст 60–65		
			Кол-во, 61%	М, 58%	Ж, 42%	Кол-во, 26%	М, 58%	Ж, 42%	Кол-во, 13%	М, 58%	Ж, 42%
	54		33			14			7		
К04.01	8	14,81	4,88	2,83	2,05	2,08	1,21	0,87	1,04	0,6	0,44
К04.02	12	22,22	7,32	3,54	2,56	3,12	1,81	1,31	1,56	0,9	0,66
К04.03	13	24,07	7,93	4,6	3,33	3,38	1,96	1,42	1,69	1,06	0,76
К04.04	10	18,52	6,1	2,83	2,05	2,6	1,51	1,09	1,3	0,75	0,55
К04.05	11	20,37	6,71	3,89	2,82	2,86	1,66	1,2	1,43	0,83	0,6

Как видно из данных, представленных в таблицах, распределение больных в группах по формам пульпита, полу и возрасту было статистически сопоставимо.

Критериями включения пациентов в исследуемые группы считали: наличие информированного согласия на лечение, необратимые формы пульпита, травма зуба со вскрытием пульпы, возраст от 18 до 65.

Критериями не включения пациентов в исследуемые группы считали: возраст – моложе 18 и старше 65 лет, воспаление тканей верхушечного периодонта (периодонтит с отсутствием или наличием деструктивных изменений в периапикальных тканях), наличие общесоматической патологии и аллергической отягощенности, беременность, вертикальные фуркационные переломы, трещины, подвижность 3-й степени, циркулярная резорбция костной ткани более 2/3 длины корня, тонкостенная и сквозная ленточные перфорации, резорбции: внутрикорневая, внекорневая сквозная, фуркационная, апикальная.

Критериями исключения пациентов из исследуемых групп являлись: добровольный отказ от участия в исследовании на любом этапе; несоблюдение пациентом регламента исследования; приобретение пациентом соматических, инфекционных заболеваний в период исследования; установление факта беременности.

Все пациенты подписали информированное согласие для участия в исследовании. У всех пациентов исследуемых групп эндодонтическое лечение проводи-

лось впервые, патологические периапикальные изменения до лечения отсутствовали.

При определении показаний к эндодонтическому лечению пациентов были использованы основные (опрос, осмотр, пальпация, перкуссия, зондирование и т.д.) и дополнительные методы обследования (электроодонтодиагностика, рентгенологическое обследование).

Анамнез заболевания включал выяснение жалоб пациента, времени появления первых признаков заболевания с динамикой их развития, возможные причины возникновения болевых ощущений, их характер, частоту и причины обострений.

При внешнем осмотре отмечали конфигурацию лица, симметрию, цвет кожных покровов, состояние регионарных лимфатических узлов и мягких тканей челюстно-лицевой области. При осмотре полости рта оценивали состояние слизистой оболочки полости рта: цвет, увлажненность, наличие или отсутствие отека, или свищевого хода. При оценке состояния слизистой оболочки десны, в области исследуемого зуба, оценивали наличие или отсутствие симптомов вазопареза. При осмотре твердых тканей оценивали состояние твердых тканей, состоятельность существующих реставраций, цвет коронки зубов.

При обследовании полости рта проводили пальпацию в области переходной складки, альвеолярного отростка, определяли подвижность зубов. Для оценки состояния зубов проводили перкуссию и зондирование. При зондировании определяли наличие и состояние кариозной полости, состоятельность реставраций и т.д.

Дополнительные методы исследования включали электроодонтодиагностику и рентгенологическое обследование.

Электроодонтодиагностику проводили с целью уточнения состояния пульпы зуба. Для проведения данного исследования использовали аппарат «ИВН-01 Пульпотест-Про» (Россия).

Рентгенологическое обследование включало прицельную радиовизиографию и при необходимости денальную компьютерную томографию.

Для проведения радиовизиографии использовали рентгенологическую установку «Evolution X-3000», производство Италия, изображение, с помощью циф-

рового датчика визиографа «Vatech EzSensor», производства Корея, отображалось на экране компьютера.

С помощью рентгенологического обследования оценивали степень проходимости корневых каналов зубов, качество obturации корневых каналов, состояние периапикальных тканей и т.д.

Отдаленные результаты лечения оценивали через 6 и 12 месяцев после пломбирования корневых каналов зубов. При отсутствии жалоб, патологических периапикальных изменений, результаты лечения оценивали, как успешные.

При лечении пациентов всех исследуемых групп проводили обезболивание, удаление мягкого налета, изоляцию зуба с помощью коффердама, препарирование кариозной полости, создание инициального и прямого эндодонтического доступов к корневым каналам зубов.

При проведении механической обработки корневых каналов зубов использовали комбинацию техники step back и crown down, машинных никель-титановых инструментов аустенитной фазы и мартенситной фазы, ручных инструментов и машинных инструментов.

После определения рабочей длины корневого канала инициальным ручным инструментом, машинную обработку проводили инструментом Mtwo 10/04 (VDW Германия). Аустенитный никель-титановый инструмент расширял корневой канал на всем протяжении по методике step back. Обладая высокой режущей способностью, по мере работы в искривленных каналах, сглаживал кривизну канала и, тем самым, снижал циклическую нагрузку, облегчая механическую нагрузку для следующего инструмента.

Расширение устьевой и средней частей корневого канала проводили инструментом Protaper next x1 (DENSPLAY SIRONA, USA). Аустенитный термообработанный (M-wire) никель-титановый инструмент, за счет смещенного центра от оси вращения и повышенной устойчивости к циклической нагрузке, обеспечивал равномерное расширение устьевой и средней частей корневого канала, без изменения кривизны канала в апикальной области. Обладая высокой режущей способностью, по мере препарирования, сглаживал кривизну канала в средней и



устьевой частях, что снижало циклическую нагрузку. Обработка корневого канала инструментом Protaper next x1 проводили по методике Crown Down.

Использование инструмента S-flexi 06/25 позволяло сохранить кривизну корневого канала, повышало конусность, что давало возможность снизить нагрузку для следующего инструмента, и повышало эффективность доступа для ирригационных растворов.

Инструментальную обработку апикальной области корневого канала проводили с помощью термообработанного (SM-wire с электрочарядной обработкой) никель-титанового инструмента с мартенситной фазой S-flexi 04/30. Этот инструмент позволял сохранять высокую устойчивость к циклической нагрузке с сохранением кривизны канала. S-flexi 04/30, принимая на себя механическую нагрузку в апикальной области, обеспечивал низкую вероятность отлома инструмента.

Применение инструмента S-flexi 04/35 обеспечивало низкую вероятность отлома инструмента, давая возможность безопасно обработать апикальную область с сохранением кривизны корневого канала.

Апикальную калибровку корневого канала проводили с использованием ручных стальных инструментов до получения белой (стерильной) апикальной дентинной стружки.

Для ирригации корневых каналов зубов были использовали специально разработанные: устройство для ирригации корневых каналов (патент на полезную модель № 211836 Российская Федерация) и съемная насадка для медикаментозной обработки корневого канала (патент на полезную модель № 210678 Российская Федерация), что позволило оптимизировать обработку корневых каналов зубов и полностью исключить использование эндодонтических шприцов в процессе лечения.

Автономная система подачи ирригационной жидкости состоит из перистальтической помпы, которая обеспечивает поток ирригационной жидкости 23 мл/мин, с регулированием скорости потока.

Ирригация разными растворами проводилась с помощью переключателя между резервуарами, в которых находились 1% раствор гипохлората натрия, ди-

стиллированная вода и ЭДТА 17%. Через систему ирригационных трубочек и универсального крепления для головок эндомотора обеспечивалась ирригация и одновременно механическая обработка всех машинных никель-титановых инструментов. Это снижало образование смазанного слоя, эффект заклинивания, за счет постоянного вымывания опилок, сокращало продолжительность процедуры эндодонтического лечения. Универсальное крепление состоит из шарнира, которым регулируется размер под крепление головок эндомоторов.

Оптимизация ирригации корневых каналов также обеспечивалась за счет модернизации звукового активатора – пластикового шприца и пластиковой эндодонтической иглы, выполненной с возможностью крепления к звуковому активатору. Это позволило реализовать звуковую активацию и эффективную ирригацию в искривленных корневых каналах. К модернизированному звуковому активатору подключались ирригационные трубочки из автономной системы подачи ирригационной жидкости.

При проведении механической обработки корневых каналов, в качестве ирриганта использовали 1 % раствор гипохлорита натрия (Omega dent, Russia), подогретый до 45<sup>0</sup> С. По окончании механической обработки корневых каналов, корневые каналы промывали дистиллированной водой, затем использовали 17% ЭДТА (META Biomed, Korea) с экспозицией на 1 минуту. После этого корневые каналы промывали 1 % раствором гипохлорита натрия, подогретым до 45<sup>0</sup> С. При проведении ирригации корневых каналов после механической обработки, использовали звуковую активацию ирригационных растворов с помощью пластиковой эндодонтической иглы. Корневые каналы высушивали бумажными абсорберами. Затем приступали к пломбированию (обтурации) корневых каналов зубов.

В группе № 1 корневые каналы обтурировали способом латеральной конденсации гуттаперчевыми штифтами (META BIOMED, Korea) и силером на основе эпоксидной смолы AH plus (Densply Sirona, USA).

В группе № 2 корневые каналы обтурировали способом вертикальной конденсации гуттаперчевыми штифтами (META BIOMED, Korea) и силером на основе эпоксидной смолы AH plus (Densply Sirona, USA). Обтурацию проводили с по-

мощью горячего плагера GuttaEst (Geosoft, Russia) и инжектора GuttaFill (Geosoft, Russia).

В группе № 3 корневые каналы obtурировали с использованием гибридного способа конденсации гуттаперчевыми штифтами (META BIOMED, Korea) и силером на основе эпоксидной смолы AH plus (Densply Sirona, USA). Obtурировали корневые каналы до середины длины корневого канала способом латериальной конденсации гуттаперчи, затем с помощью горячего плагера GuttaEst (Geosoft, Russia) проводили вертикальную конденсацию, не доводя плагер на расстояние 5 мм до апикальной констрикции. Затем проводили вертикальную конденсацию гуттаперчи холодными плагерами SSG Plugegr № 1, 2, 3 (Geosoft, Russia).

#### **2.4. Статистическая обработка результатов исследования**

Для проведения анализа данных был использован язык статистического программирования R. Иллюстрации были построены с помощью пакета «ggplot2 [67, 241, 255, 256]. Количественные переменные представлены с помощью минимума (min), максимума (max), медианы (M), первого (Q1) и третьего (Q3) квартилей, а в случае нормального распределения – с помощью среднего значения и стандартного отклонения ( $m \pm SD$ ). Категориальные переменные были представлены частотами и процентами. Для количественных данных статистические сравнения групп были проведены с помощью U-критерия Манна – Уитни или теста Стьюдента, в случае нормального распределения. Для категориальных данных статистические сравнения групп были проведены с помощью точного теста Фишера или с помощью критерия хи-квадрат. В качестве критерия статистической значимости использовалось значение  $p < 0.05$ . Метод Benjamini – Hochberg был использован для контроля false discovery rate (FDR) [103].

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

### **3.1. Результаты лабораторных исследований по изучению эффективности применения различных сольвентов и ирригационных растворов при эндодонтическом лечении**

#### **3.1.1. Результаты изучения растворяющего действия различных сольвентов**

Результаты исследования показали, что все эфирные масла из группы исследования обладают растворяющей способностью по отношению к гуттаперчевому филлеру и силеру (Рисунки 7, 8, 9, 10, 11, 12) (Таблица 7).



Рисунок 7 – Растворение гуттаперчевого штифта в гвоздичном эфирном масле



Рисунок 8 – Растворение гуттаперчевого штифта в апельсиновом эфирном масле



Рисунок 9 – Растворение гуттаперчевого штифта в мятном эфирном масле



Рисунок 10 – Растворение гуттаперчевого штифта в эвкалиптовом эфирном масле



Рисунок 11 – Растворение гуттаперчевого штифта в грейпфрутовом эфирном масле



Рисунок 12 – Растворение силера АН plus в различных эфирных маслах

Таблица 7 – Результаты растворения гуттаперчи в эфирных маслах

<i>Группа</i>	<i>Образцы</i>	<i>Начало растворения</i>	<i>Полное растворение</i>
1-я группа	Гвоз-масло + филлер	45 сек	1 мин 35 сек
	Гвоз-масло + филлер	40 сек	1 мин 30 сек
	Гвоз-масло + филлер	35 сек	1 мин 25 сек
2-я группа	Эвк-масло + филлер	35 сек	1 мин 25 сек
	Эвк-масло + филлер	40 сек	1 мин 30 сек
	Эвк-масло + филлер	30 сек	1 мин 20 сек
3-я группа	Грейп-масло + филлер	10 сек	60 сек
	Грейп-масло + филлер	15 сек	1 мин 5 сек
	Грейп-масло + филлер	5 сек	55 сек
4-я группа	Мят-масло + филлер	50 сек	1 мин 40 сек
	Мят-масло + филлер	55 сек	1 мин 45 сек
	Мят-масло + филлер	45 сек	1 мин 35 сек
5-я группа	Апел-масло + филлер	30 сек	1 мин 20 сек
	Апел-масло + филлер	35 сек	1 мин 25 сек
	Апел-масло + филлер	25 сек	1 мин 30 сек

Исследование процесса растворения гуттаперчевых штифтов в эфирных маслах позволило собрать данные, представленные в Таблице 8.

Рисунок 13 иллюстрирует собранные данные.

По времени начала растворения грейпфрутовое масло статистически значительно отличалось от гвоздичного ( $p = 0,002$ ), эвкалиптового ( $p = 0,004$ ), мятного ( $p = 0,001$ ) и апельсинового ( $p = 0,008$ ). В свою очередь, статистически значимую разницу продемонстрировали эвкалиптовое и мятное ( $p = 0,021$ ), а также мятное и апельсиновое ( $p = 0,008$ ) масла (Таблица 8).

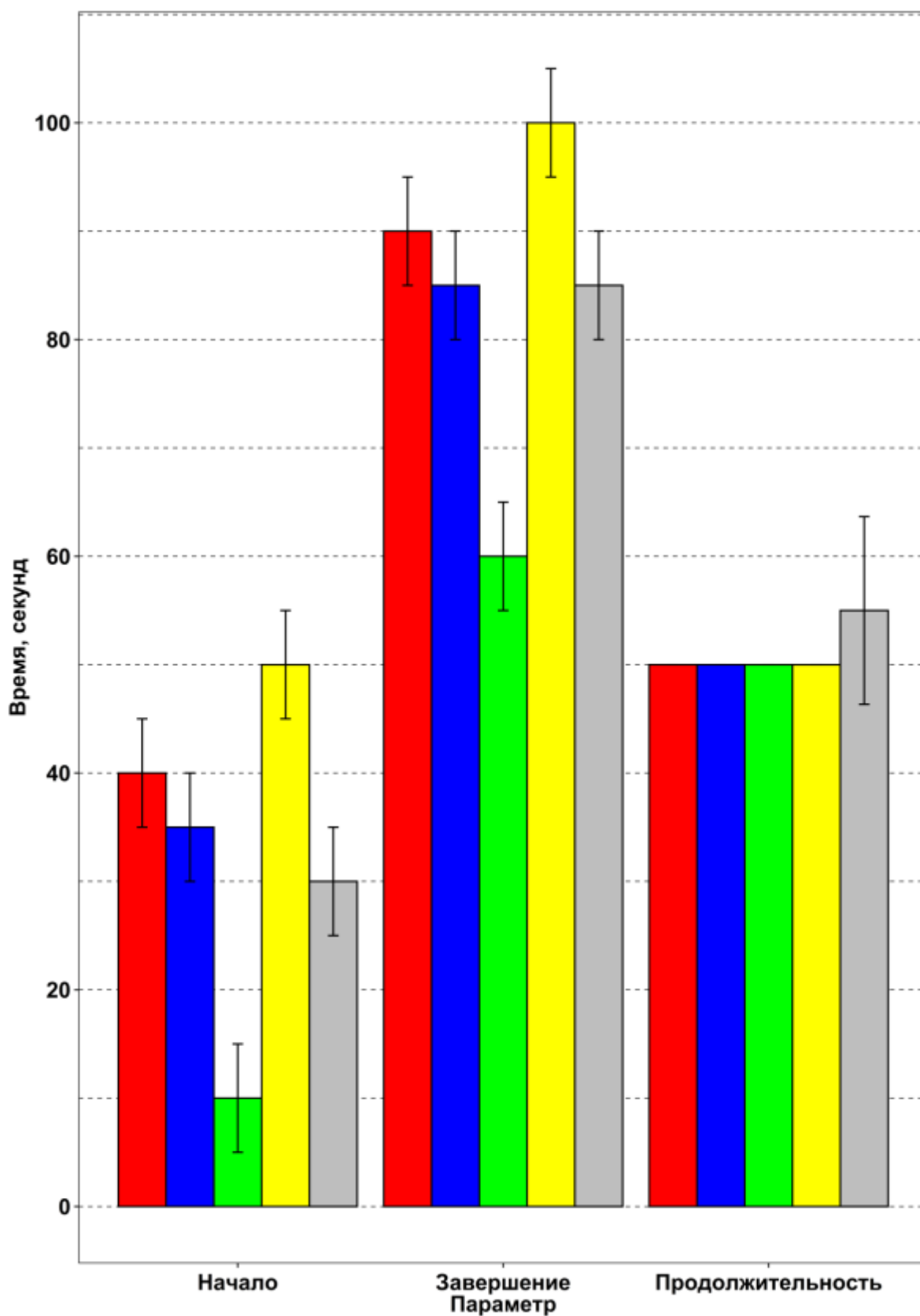
Таблица 8 – Детали процесса растворения гуттаперчевых штифтов в эфирных маслах

<i>Параметр</i>	<i>Масло</i>	<i>m</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>
Продолжительность растворения	Гвоздичное	50	0	3
	Эвкалиптовое	50	0	3
	Грейпфрутовое	50	0	3
	Мятное	50	0	3
	Апельсиновое	55	8.7	3
Завершение растворения	Гвоздичное	90	5	3
	Эвкалиптовое	85	5	3
	Грейпфрутовое	60	5	3
	Мятное	100	5	3
	Апельсиновое	85	5	3
Начало растворения	Гвоздичное	40	5	3
	Эвкалиптовое	35	5	3
	Грейпфрутовое	10	5	3
	Мятное	50	5	3
	Апельсиновое	30	5	3

*Примечание* – SD – стандартное отклонение, m – среднее значение, n – количество наблюдений. Значения в секундах

По времени завершения растворения грейпфрутовое масло статистически значительно отличалось от гвоздичного ( $p = 0,002$ ), эвкалиптового ( $p = 0,004$ ), мятного ( $p = 0,001$ ), и апельсинового ( $p = 0,004$ ). В свою очередь, статистически значимую разницу продемонстрировали эвкалиптовое и мятное ( $p = 0,021$ ), а также мятное и апельсиновое ( $p = 0,021$ ) масла (Таблица 8).

Данные по продолжительности растворения не продемонстрировали достаточной для анализа дисперсии (Рисунок 13, Таблица 8)



*Примечание* – Приведены средние значения ( $m$ ) и стандартные отклонения ( $SD$ ) полученных данных ( $n = 3$ ). Красный цвет – гвоздичное масло, синий – эвкалиптовое, зеленый – грейпфрутовое, желтый – мятное, серый – апельсиновое

Рисунок 13 – Время начала и завершения растворения гуттаперчевых штифтов в эфирных маслах, а также продолжительность процесса

При изучении растворяющего действия исследуемых эфирных масел в отношении силера (АН plus) установлено, что, начиная с 5 минуты взаимодействия силера с каждым эфирным маслом, наблюдалось размягчение силера. К 10 минуте наблюдения отмечалось полное растворение силера под действием всех эфирных масел.

### 3.1.2. Результаты определения коэффициента поверхностного натяжения различных сольвентов и ирригационных растворов

С помощью аппарата Ребиндера были получены данные для вычисления коэффициента поверхностного натяжения сольвентов и ирригационных растворов. Эти данные представлены в Таблице 9 и Таблице 10 соответственно.

Таблица 9 – Данные для вычисления коэффициента поверхностного натяжения сольвентов

<i>H<sub>2</sub>O</i>			<i>Гвоз-масло</i>			<i>Эвк-масло</i>			<i>Грейп-масло</i>			<i>Мят-масло</i>			<i>Апел-масло</i>		
h1	h2	P <sub>0</sub>	h1	h2	P	h1	h2	P	h1	h2	P	h1	h2	P	h1	h2	P
39	88	49	73	52	21	78	49	29	72	53	19	77	50	27	73	52	21
40	85	45	73	52	21	77	47	30	72	54	18	76	48	28	73	53	20
38	86	48	73	51	22	76	47	29	72	54	18	75	48	27	73	53	20
39	85	46	73	53	20	78	48	30	72	53	19	77	49	28	73	52	21
39	85	46	73	51	22	78	48	30	70	55	15	77	49	28	71	54	17
40	86	46	72	53	19	76	49	27	72	55	17	76	50	26	73	54	19
39	86	47	72	50	22	79	47	32	71	54	17	78	48	30	72	53	19
39	86	47	73	52	21	77	47	30	70	55	15	76	48	28	71	54	17
39	84	45	70	54	16	78	47	31	70	54	16	77	48	29	71	53	18
39	84	47	73	52	21	78	48	30	70	55	15	77	49	28	71	54	17
		<b>46,6</b>			<b>20,5</b>			<b>29,8</b>			<b>16,9</b>			<b>27,9</b>			<b>18,9</b>



В Таблице 11 представлены результаты вычисления коэффициента поверхностного натяжения сольвентов.

Коэффициент поверхностного натяжения гвоздичного масла статистически значимо отличался от коэффициента поверхностного натяжения эвкалиптового ( $p < 0,001$ ), грейпфрутового ( $p < 0,001$ ), мятного ( $p < 0,001$ ) и апельсинового ( $p = 0,041$ ) масел (Таблица 11). При этом коэффициент поверхностного натяжения эвкалиптового масла статистически значимо отличался от коэффициента поверхностного натяжения грейпфрутового ( $p < 0,001$ ), мятного ( $p = 0,015$ ) и апельсинового ( $p < 0,001$ ) масел (Таблица 11). А коэффициент поверхностного натяжения грейпфрутового масла статистически значимо отличался от коэффициента поверхностного натяжения мятного ( $p < 0,001$ ) и апельсинового ( $p = 0,001$ ) масел (Рисунок 14, Таблица 11). Мятное и апельсиновое масла также показали статистически значимые различия по этому показателю ( $p < 0,001$ ) (Таблица 11).

Таблица 10 – Данные для вычисления коэффициента поверхностного натяжения ирригационных растворов

<i>Гипохлорит натрия NaOCL 5%</i>			<i>Гипохлорит натрия NaOCL 3.25%</i>			<i>Гипохлорит натрия NaOCL 1%</i>			<i>Мицелярная вода</i>		
h1	h2	P	h1	h2	P	h1	h2	P	h1	h2	P
80	42	38	81	39	42	81	42	39	75	50	25
80	40	40	80	40	40	80	42	38	76	50	26
79	40	39	80	42	38	80	41	39	73	51	22
79	41	38	76	43	33	76	43	33	77	49	28
78	41	37	77	42	35	78	42	36	78	50	28
79	40	39	79	41	38	79	41	38	78	51	27
80	40	40	81	42	39	80	42	38	76	50	26
80	40	40	77	42	35	77	42	35	77	50	27
80	42	38	80	41	39	78	41	37	75	49	26
78	41	37	81	40	41	81	42	39	77	52	25
		38,6			38			37,2			26

Таблица 11 – Результаты вычисления коэффициента поверхностного натяжения сольвентов

<i>Сольвенты – масла</i>	<i>Среднее значение коэффициента поверхностного натяжения, дин/см</i>	<i>Стандартное отклонение коэффициента поверхностного натяжения, дин/см</i>	<i>Количество наблюдений</i>
Апельсиновое	29,1	2,4	10
Мятное	43,0	2,3	10
Грейпфрутовое	26,0	2,4	10
Эвкалиптовое	45,9	2,6	10
Гвоздичное	31,6	2,6	10

Рисунок 14 иллюстрирует результаты вычисления коэффициента поверхностного натяжения сольвентов.

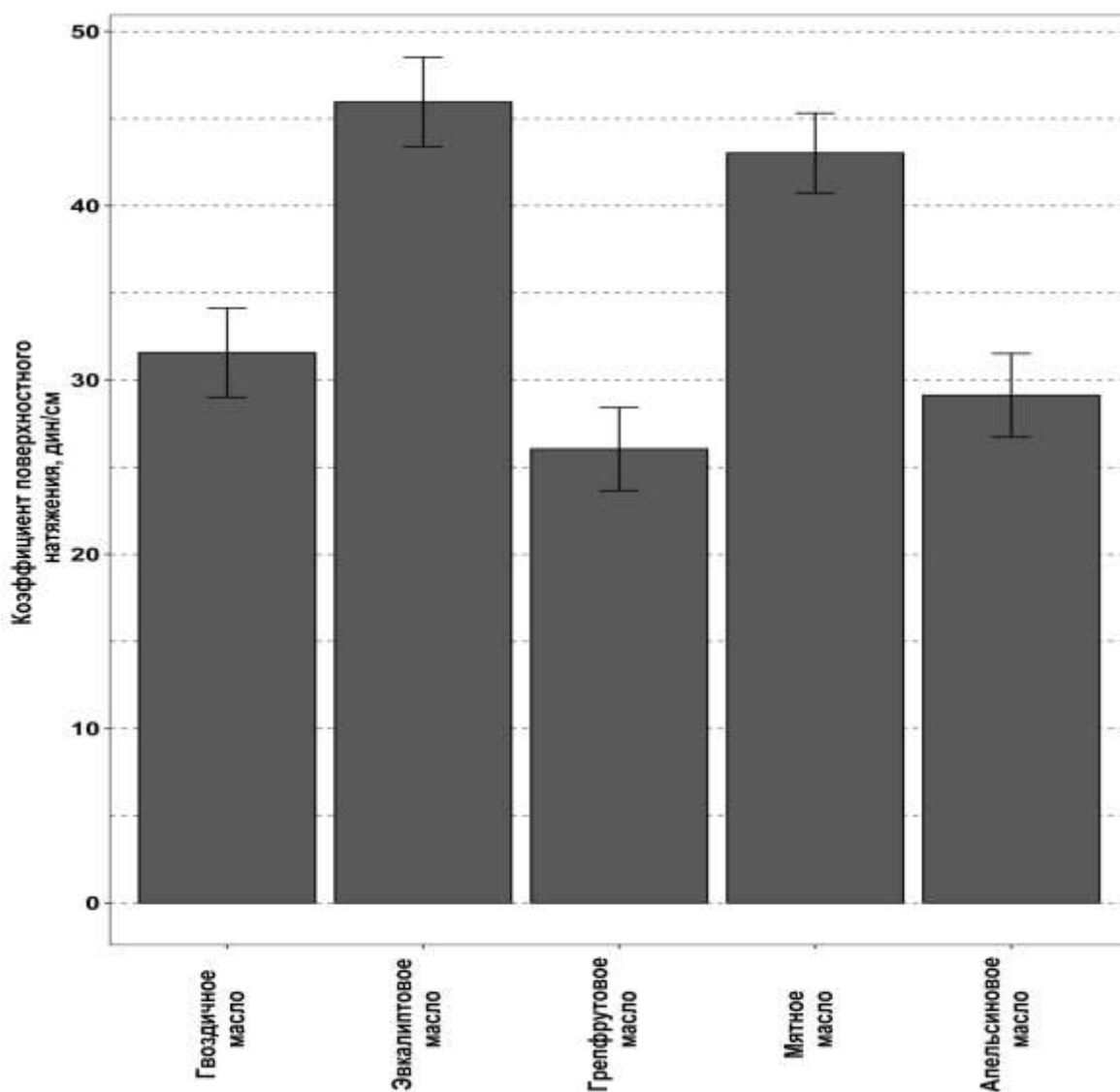


Рисунок 14 – Результаты вычисления коэффициента поверхностного натяжения сольвентов

В Таблице 12 представлены результаты вычисления коэффициента поверхностного натяжения различных ирригационных растворов.

Таблица 12 – Результаты вычисления коэффициента поверхностного натяжения ирригационных растворов

<i>Ирриганты</i>	<i>Среднее значение коэффициента поверхностного натяжения, дин/см</i>	<i>Стандартное отклонение коэффициента поверхностного натяжения, дин/см</i>	<i>Количество наблюдений</i>
Гипохлорит натрия 5%	59,5	2,5	10
Гипохлорит натрия 3,25%	58,6	4,2	10
Гипохлорит натрия 1%	57,3	2,9	10
Мицеллярная вода	40,1	3,4	10

Рисунок 15 иллюстрирует результаты вычисления коэффициента поверхностного натяжения ирригационных растворов. Коэффициент поверхностного натяжения мицеллярной воды статистически значимо отличался от коэффициента поверхностного натяжения гипохлорита натрия 1% ( $p < 0,001$ ), гипохлорита натрия 3,25% ( $p < 0,001$ ) и гипохлорита натрия 5% ( $p < 0,001$ ) (Рисунок 15). При этом коэффициент поверхностного натяжения гипохлорита натрия 1% не показал статистически значимых отличий от коэффициента поверхностного натяжения гипохлорита натрия 3,25% ( $p = 0,459$ ) и гипохлорита натрия 5% ( $p = 0,085$ ) (Рисунок 15). А коэффициент поверхностного натяжения гипохлорита натрия 3,25% не показал статистически значимых отличий от коэффициента поверхностного натяжения гипохлорита натрия 5% ( $p = 0,547$ ) (Рисунок 15).

Четко прослеживается тенденция к увеличению коэффициента поверхностного натяжения с увеличением концентрации гипохлорита натрия (Рисунок 15)

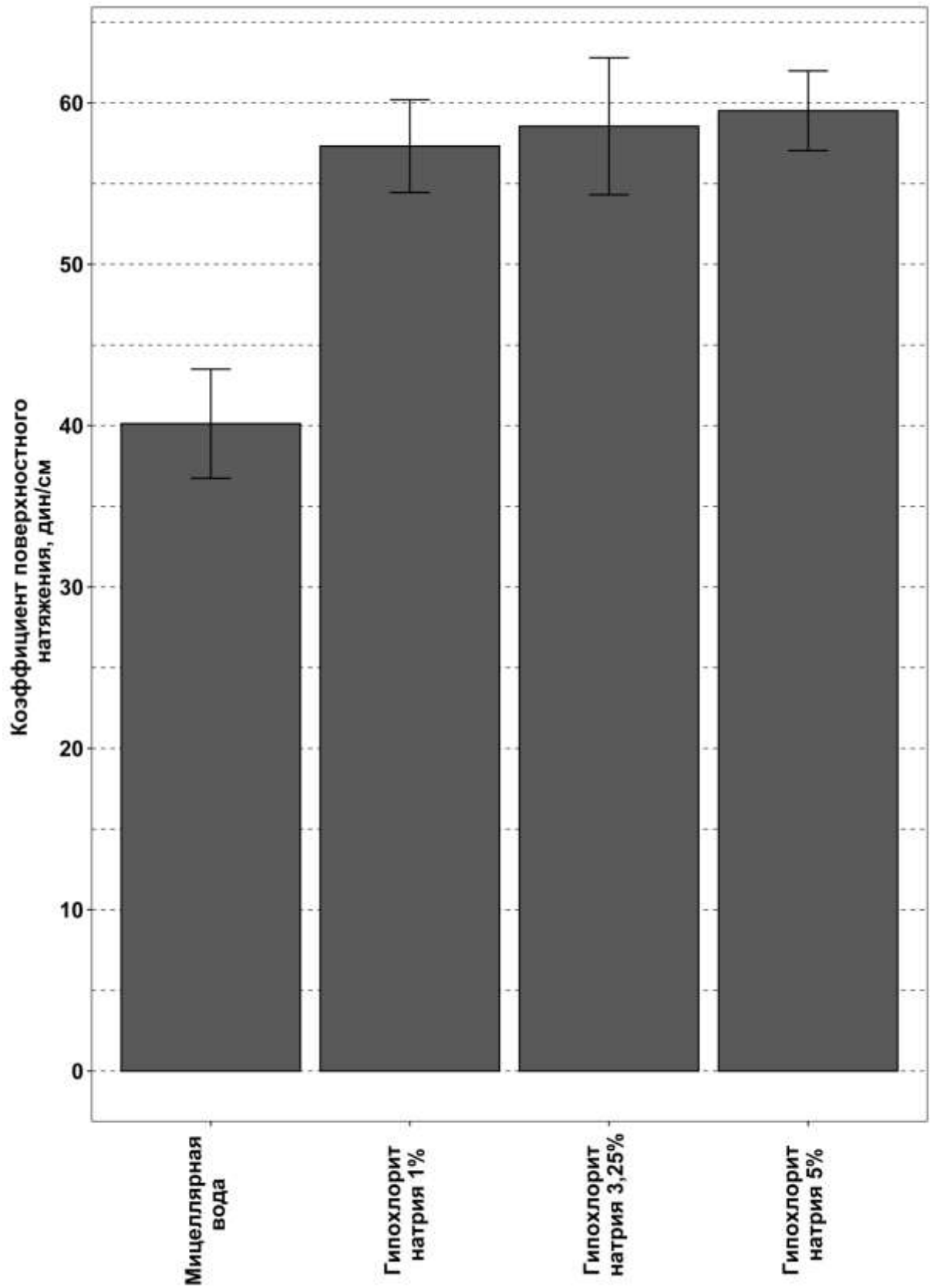


Рисунок 15 – Результаты вычисления коэффициента поверхностного натяжения ирригационных растворов

### 3.1.3. Результаты изучения моющей активности ирригационных растворов

Результаты реакции грейпфрутового эфирного масла с различными ирригационными растворами представлены на Рисунках 16, 17, 18, 19.



Рисунок 16 – Реакция грейпфрутового эфирного масла с 5% раствором гипохлорита натрия

Под действием 5% раствора гипохлорита натрия масляная пленка, в результате действия сил поверхностного натяжения, деформировалась и, разрушаясь, образовывала большие масляные капли в середине, которые обволакивались 5% раствором гипохлорита натрия, при этом сохранялось наружное масляное кольцо, имеющее неравномерное очертание (Рисунок 16).



Рисунок 17 – Реакция грейпфрутового эфирного масла с 3,25% раствором гипохлорита натрия

Под действием 3,25% раствора гипохлорита натрия масляная пленка, в результате действия сил поверхностного натяжения, деформировалась, разрушаясь образовывала небольшие масляные капли в середине, которые обволакивались 3,25% раствором гипохлорита натрия, при этом оставалось наружное плотное масляное кольцо (Рисунок 17).



Рисунок 18 – Реакция грейпфрутового эфирного масла с 1% раствором гипохлорита натрия, нагретого до 45°C

Под действием 1% раствора гипохлорита натрия, нагретого до 45°C, масляная пленка быстро нагревалась и, в результате действия сил поверхностного натяже-

ния, деформировалась, разрушаясь образовывала масляные капли, которые обволакивались 1% раствором гипохлорита натрия (Рисунок 18).

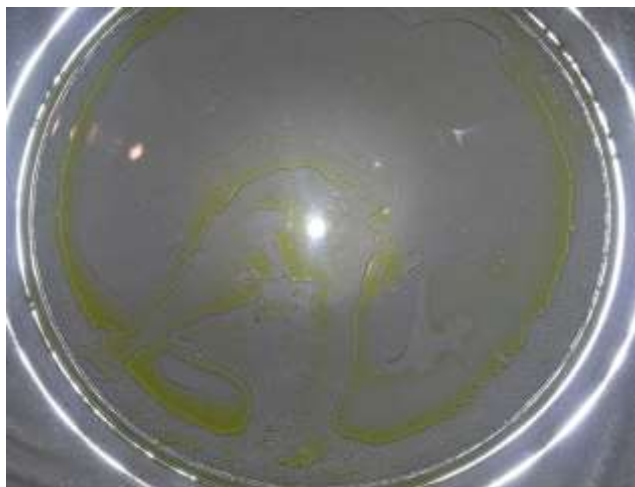


Рисунок 19 – Реакция грейпфрутового эфирного масла с мицеллярной водой

При взаимодействии грейпфрутового эфирного масла с мицеллярной водой, под действием поверхностно активных веществ, снижалось поверхностное натяжение и повышалась смачиваемость, образуя гидрофилизацию капель масла, что препятствовало их слиянию (коалесценции) (Рисунок 19).

Таким образом, результаты исследования показали, что в отношении грейпфрутового эфирного масла наибольшей моющей способностью обладает мицеллярная вода. При сравнении растворов гипохлорита натрия разной концентрации, этот показатель был выше у 1% раствора гипохлорита натрия, нагретого до 45<sup>0</sup> С, по сравнению с не нагретыми 3.25% и 5% растворов гипохлорита натрия.

#### **3.1.4. Результаты изучения эффективности различных способов распломбировки корневых каналов зубов, ранее запломбированных с использованием гуттаперчи**

Результаты сканирующей электронной микроскопии четырех образцов шлифов зубов представлены на Рисунках 20, 21, 22, 23.

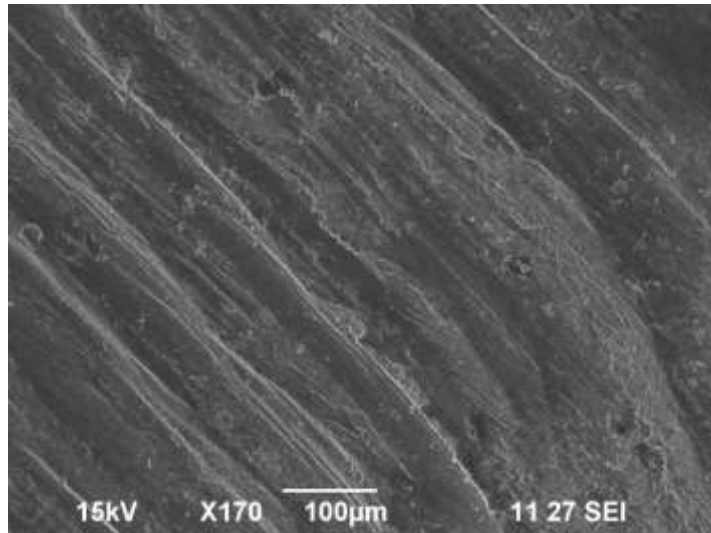


Рисунок 20 – Образец № 1. Шлиф зуба после распломбировки ручными и машинными инструментами без использования сольвентов и ирригацией корневого канала дистиллированной водой

При изучении шлифа образца № 1, где распломбировку корневого канала проводили только ручными и машинными инструментами, а для ирригации корневого канала использовали дистиллированную воду, было обнаружено, что поверхность шлифа имела линейные царапины одинаковой глубины и направления, дентинных канальцев не прослеживалось, вся поверхность была покрыта смазанным слоем, обнаруживалось частичное сохранение силера и филлера (Рисунок 20).

При изучении шлифа образца № 2, где распломбировку корневого канала проводили с использованием грейпфрутового эфирного масла в сочетании с ручными и машинными инструментами, а ирригацию корневого канала осуществляли с использованием 3,25% раствора гипохлорита натрия, было отмечено, что поверхность шлифа имела пористую структуру, равномерно распределенную по всей поверхности, фиксировались дентинные канальцы, частично покрытые смазанным слоем без остатков филлера и силера (Рисунок 21).



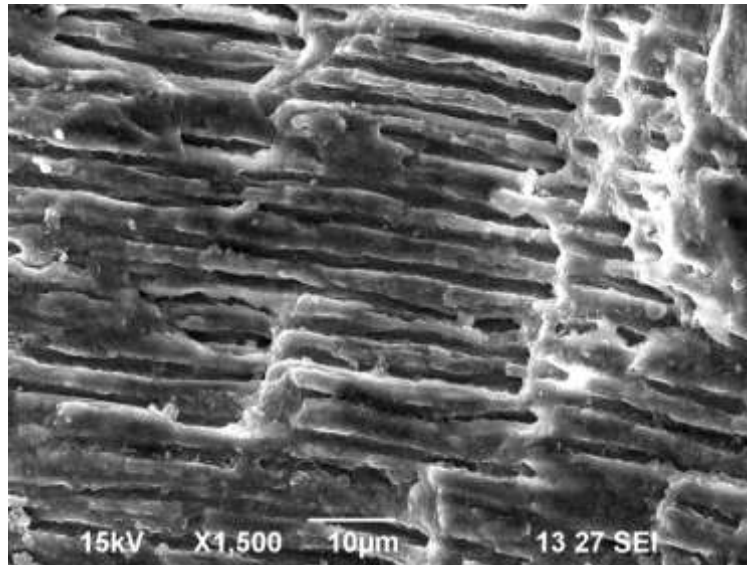


Рисунок 21 - Образец №2. Шлиф зуба после распломбировки ручными и машинными инструментами с использованием грейпфрутового эфирного масла и ирригацией корневого канала 3.25% раствором гипохлорита натрия

При изучении шлифа образца № 3, где распломбировку корневого канала проводили с использованием грейпфрутового эфирного масла в сочетании с ручными и машинными инструментами, а ирригацию корневого канала проводили только дистиллированной водой для удаления опилок, без использования раствора гипохлорита натрия и ЭДТА, обнаружено, что на поверхности шлифа прослеживались дентинные каналы, частично покрытые смазанным слоем, без остатков филлера и силера (Рисунок 22).

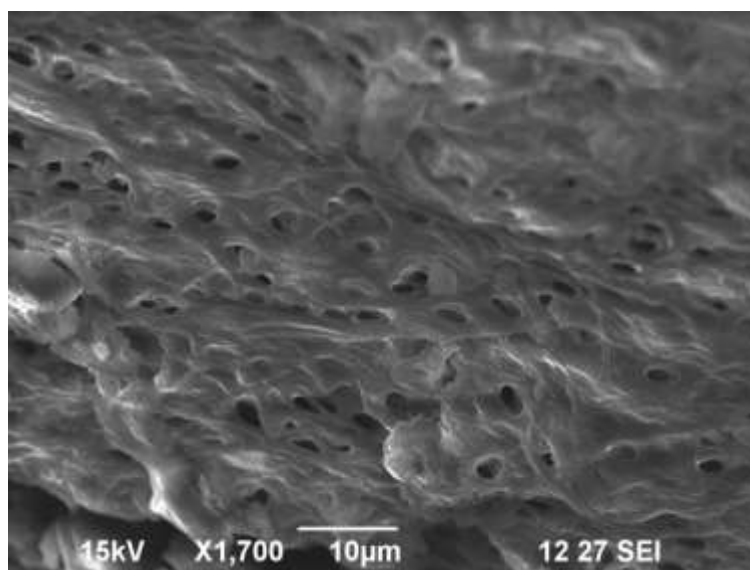


Рисунок 22 - Образец №3. Шлиф зуба после распломбировки ручными и машинными инструментами с использованием грейпфрутового эфирного масла и ирригацией корневого канала дистиллированной водой

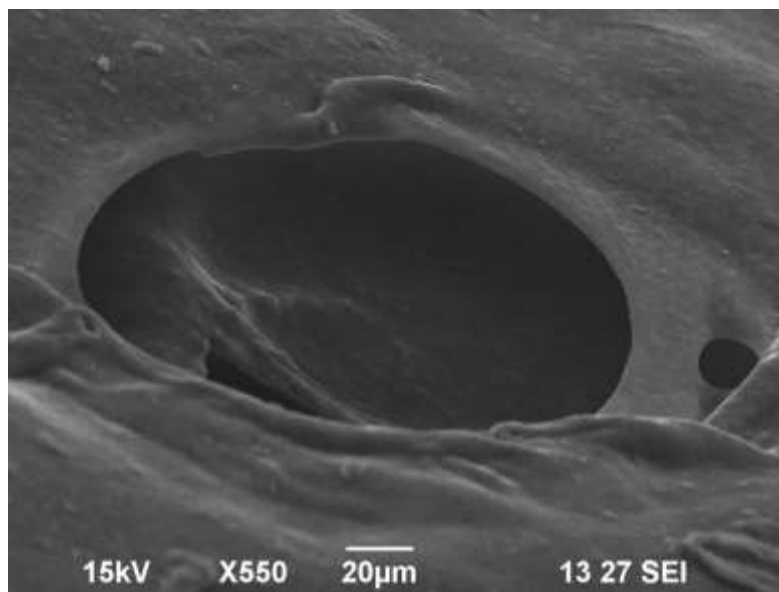


Рисунок 23 – Образец № 4. Шлиф зуба после распломбировки ручными и машинными инструментами с использованием грейпфрутового эфирного масла и ирригацией корневого канала 1% раствором гипохлорита натрия, нагретого до 45<sup>0</sup> С и 17% ЭДТА

При изучении шлифа образца № 4, где распломбировку корневого канала проводили с использованием грейпфрутового эфирного масла в сочетании с ручными и машинными инструментами, а ирригацию корневого канала осуществляли с использованием 1% раствора гипохлорита натрия, нагретого до 45<sup>0</sup> С и 17% ЭДТА, отмечено, что поверхность шлифа имела ярко выраженную пористую чистую структуру, четко прослеживались дентинные каналы без смазанного слоя и остатков филлера и силера (Рисунок 23).

## **3.2. Результаты лабораторного изучения износостойкости никель-титановых инструментов**

### **3.2.1. Результаты изучения циклической усталости никель-титановых инструментов**

Результаты изучения циклической усталости никель-титановых инструментов приведены в Таблице 13.

Таблица 13 – Результаты изучения циклической усталости никель-титановых инструментов

<i>Производитель</i>	<i>Файлы</i>	<i>Механическая нагрузка</i>	<i>Химическая и термическая нагрузка</i>	<i>Время отлома</i>	<i>Кол-во оборотов</i>
Сохо sc pro	02/19	6 каналов	2 цикла	227 сек	1325,68
		6 каналов	2 цикла	235 сек	1372,4
		6 каналов	2 цикла	215 сек	1255,6
	04/20	6 каналов	2 цикла	206 сек	1203,04
		6 каналов	2 цикла	217 сек	1267,28
		5 каналов	1 цикл	195 сек	1138,8
	04/25	6 каналов	2 цикла	202 сек	1179,68
		6 каналов	2 цикла	214 сек	1249,76
		5 каналов	1 цикл	193 сек	1127,12
	06/25	5 каналов	1 цикл	166 сек	969,44
		5 каналов	1 цикл	178 сек	1039,52
		4 канала	1 цикл	153 сек	905,2
	04/35	6 каналов	2 цикла	204 сек	1191,36
		6 каналов	2 цикла	212 сек	1238,08
	5 каналов	1 цикл	194 сек	1132,96	
Protaper gold	S1	11 каналов	3 цикла	409 сек	045
		11 каналов	3 цикла	421 сек	2105
		11 каналов	3 цикла	403 сек	2015
	S2	5 каналов	1 цикла	200 сек	1000
		6 каналов	2 цикла	209 сек	1055
		5 каналов	1 цикл	189 сек	945
	F1	7 каналов	2 цикла	246 сек	1230
		7 каналов	2 цикла	257 сек	1285
		6 каналов	2 цикла	235 сек	1175
	F2	6 каналов	2 цикла	204 сек	1020
		6 каналов	2 цикла	215 сек	1075
		5 каналов	1 цикл	193 сек	965
	F3	5 каналов	1 цикл	200 сек	1000
		6 каналов	2 цикла	203 сек	1015
	5 каналов	1 цикл	189 сек	945	
Mtwo	10/04	6 каналов	2 цикла	214 сек	999,38
		6 каналов	2 цикла	225 сек	1050,75
		6 каналов	2 цикла	211 сек	985,37
Protaper next	X1	6 каналов	2 цикла	205 сек	1025
		6 каналов	2 цикла	217 сек	1085
		6 каналов	2 цикла	203 сек	105
S –flexi	04/20	7 каналов	2 цикла	274 сек	1827,58
		7 каналов	2 цикла	277 сек	1847,59
		7 каналов	2 цикла	263 сек	1754,21
	04/25	16 каналов	4 цикла	627 сек	4182,09
		16 каналов	4 цикла	638 сек	4255,46
		16 каналов	4 цикла	618 сек	4122,06
	04/30	36 каналов	8 циклов	1430 сек	9538,1
		36 каналов	8 циклов	1441 сек	9611,47
		36 каналов	8 циклов	1421 сек	9478,07
	04/35	22 каналов	5 циклов	873 сек	5822,91
		23 канала	5 циклов	884 сек	5896,28
		22 канала	5 циклов	862 сек	5749,54
	06/25	21 канал	5 циклов	828 сек	5522,76
		21 канал	5 циклов	839 сек	5596,13
	21 канал	5 циклов	817 сек	5449,39	

Данные, собранные из Таблицы 13 в рамках исследования устойчивости инструментов к циклической усталости, были агрегированы по производителю инструмента и типу файла и подвергнуты статистической обработке (Таблица 14). Последующая обработка позволила осуществить эффективный визуальный анализ данных.

Таблица 14 – Результаты статистической обработки изучения циклической усталости никель-титановых инструментов. Данные агрегированы по группам и представлены в виде: среднее  $\pm$  стандартное отклонение (N = 3)

<i>Производитель</i>	<i>Файл</i>	<i>Количество пройденных каналов</i>	<i>Количество циклов стерилизации</i>	<i>Время функционирования, минут</i>	<i>Количество оборотов, тысяч</i>
Сохо sc pro	02/19	6 $\pm$ 0	2 $\pm$ 0	3,8 $\pm$ 0,2	1,3 $\pm$ 0,1
Сохо sc pro	04/20	5,7 $\pm$ 0,6	1,7 $\pm$ 0,6	3,4 $\pm$ 0,2	1,2 $\pm$ 0,1
Сохо sc pro	04/25	5,7 $\pm$ 0,6	1,7 $\pm$ 0,6	3,4 $\pm$ 0,2	1,2 $\pm$ 0,1
Сохо sc pro	04/35	5,7 $\pm$ 0,6	1,7 $\pm$ 0,6	3,4 $\pm$ 0,2	1,2 $\pm$ 0,1
Сохо sc pro	06/25	4,7 $\pm$ 0,6	1 $\pm$ 0	2,8 $\pm$ 0,2	1 $\pm$ 0,1
Mtwo	10/04	6 $\pm$ 0	2 $\pm$ 0	3,6 $\pm$ 0,1	1 $\pm$ 0
Protaper gold	F1	6,7 $\pm$ 0,6	2 $\pm$ 0	4,1 $\pm$ 0,2	1,2 $\pm$ 0,1
Protaper gold	F2	5,7 $\pm$ 0,6	1,7 $\pm$ 0,6	3,4 $\pm$ 0,2	1 $\pm$ 0,1
Protaper gold	F3	5,3 $\pm$ 0,6	1,3 $\pm$ 0,6	3,3 $\pm$ 0,1	1 $\pm$ 0
Protaper gold	S1	11 $\pm$ 0	3 $\pm$ 0	6,9 $\pm$ 0,2	2,1 $\pm$ 0
Protaper gold	S2	5,3 $\pm$ 0,6	1,3 $\pm$ 0,6	3,3 $\pm$ 0,2	1 $\pm$ 0,1
Protaper next	X1	6 $\pm$ 0	2 $\pm$ 0	3,5 $\pm$ 0,1	1 $\pm$ 0
S-flexi	04/20	7 $\pm$ 0	2 $\pm$ 0	4,5 $\pm$ 0,1	1,8 $\pm$ 0
S-flexi	04/25	16 $\pm$ 0	4 $\pm$ 0	10,5 $\pm$ 0,2	4,2 $\pm$ 0,1
S-flexi	04/30	36 $\pm$ 0	8 $\pm$ 0	23,8 $\pm$ 0,2	9,5 $\pm$ 0,1
S-flexi	04/35	22,3 $\pm$ 0,6	5 $\pm$ 0	14,6 $\pm$ 0,2	5,8 $\pm$ 0,1
S-flexi	06/25	21 $\pm$ 0	5 $\pm$ 0	13,8 $\pm$ 0,2	5,5 $\pm$ 0,1

Рисунок 24 демонстрирует результаты испытания инструментов на устойчивость к механической нагрузке.

Рисунок 25 демонстрирует результаты испытания инструментов на устойчивость к термической и химической нагрузкам.

Рисунок 26 демонстрирует продолжительность функционирования инструментов до момента отлома.

Рисунок 27 демонстрирует количество оборотов, сделанных инструментом до момента отлома.

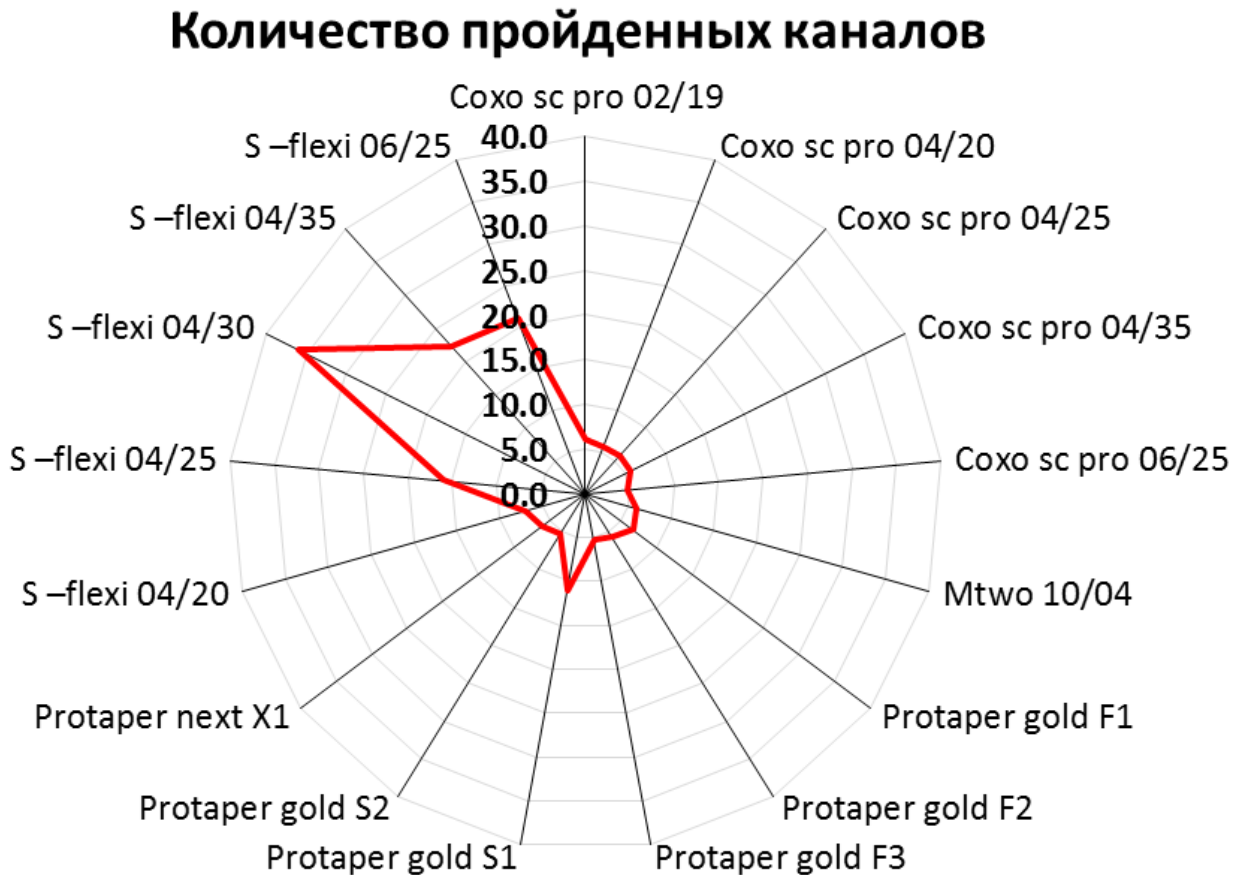


Рисунок 24 – Радарная диаграмма, отображающая степень устойчивости исследуемых инструментов к механической нагрузке по количеству пройденных каналов (среднее значение для группы, N = 3)

## Количество циклов стерилизации

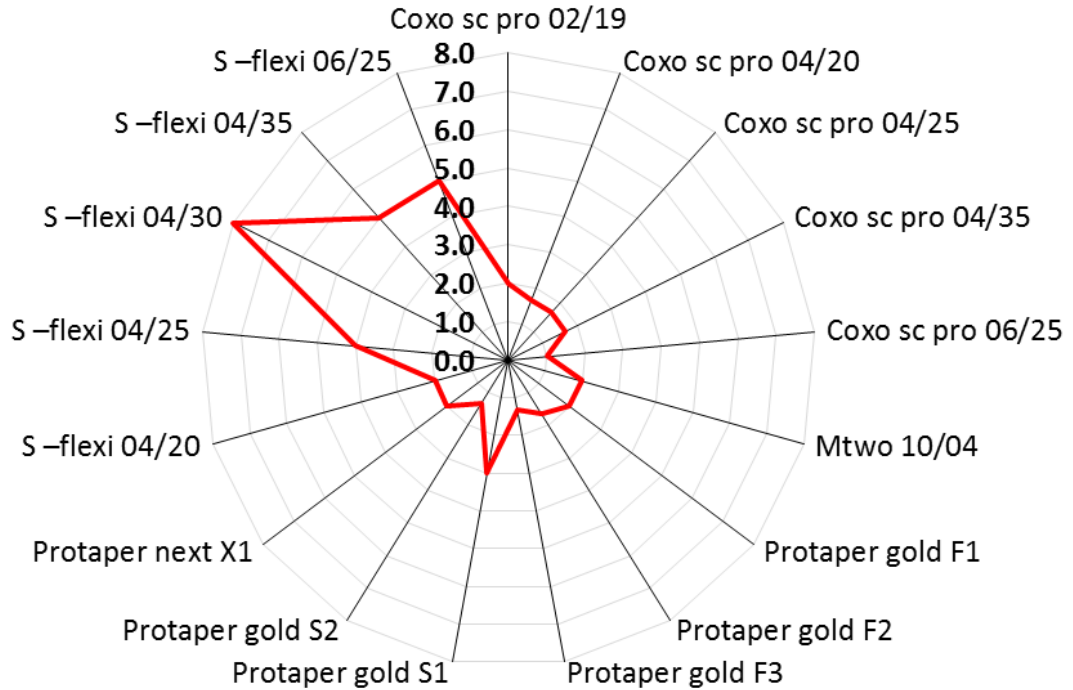


Рисунок 25 – Радарная диаграмма, отображающая степень устойчивости исследуемых инструментов к термической и химической нагрузкам по количеству пройденных циклов стерилизации (среднее значение для группы, N = 3)

## Время функционирования, минут

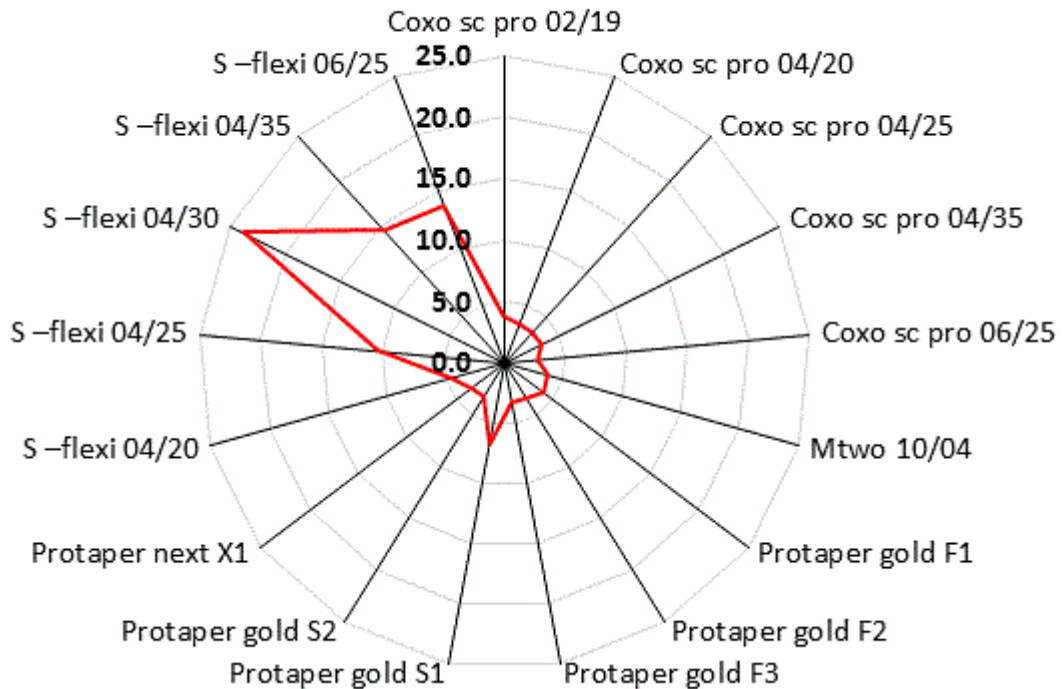


Рисунок 26 – Радарная диаграмма, отображающая степень устойчивости исследуемых инструментов к нагрузкам по времени функционирования инструментов до момента отлома (среднее значение для группы, N = 3)

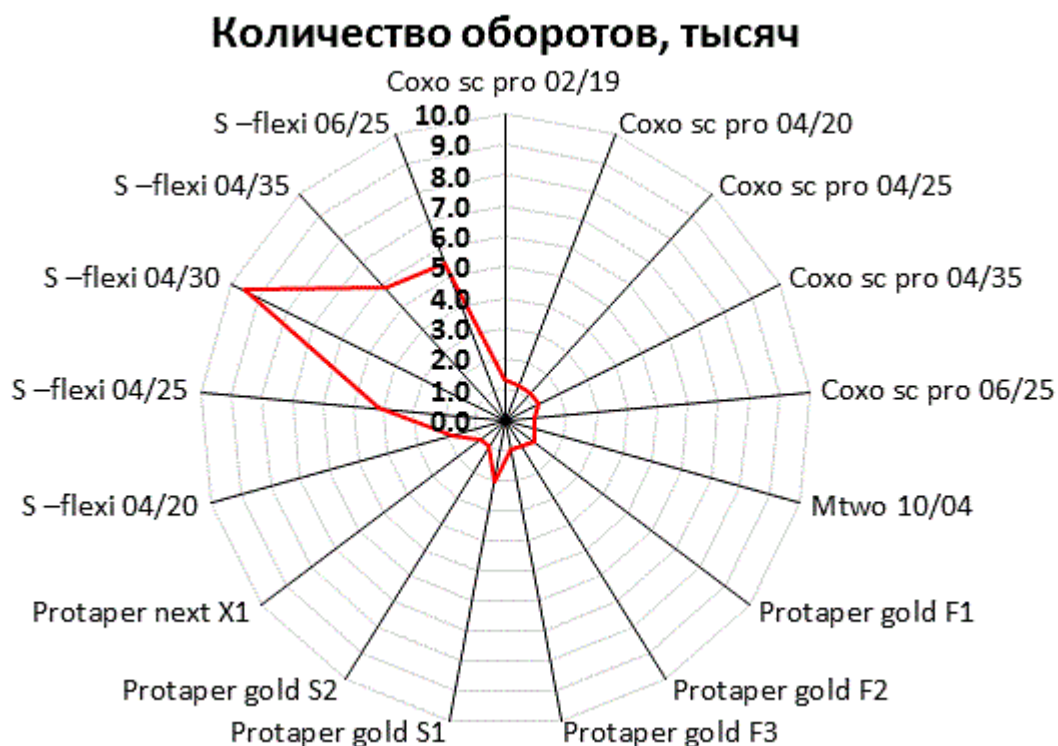


Рисунок 27 – Радарная диаграмма, отображающая степень устойчивости исследуемых инструментов к нагрузке по количеству оборотов, сделанных инструментом до отлома (среднее значение для группы, N = 3)

По всем рассмотренным показателям значительно более высокую устойчивость продемонстрировали инструменты S-flexi, в частности: S-flexi 04/25, S-flexi 04/30, S-flexi 04/35 и S-flexi 06/25 (Рисунки 24–27). При этом, следует отметить, что инструмент S-flexi 04/20 показал очень низкую устойчивость к нагрузкам, по сравнению с другими инструментами группы S-flexi. Кроме того, на фоне остальных инструментов, положительно, хотя и в гораздо в меньшей степени, выделяется Protaper Gold S1 (Таблица 13 и Таблица 14).

### 3.2.2. Результаты рентгеноспектрального анализа никель-титановых инструментов до и после циклической нагрузки

В результате рентгеноспектрального анализа, проведенного до циклических нагрузок, в поверхностных слоях некоторых инструментов был обнаружен кислород. В связи с этим, инструменты были распределены по подгруппам с содержанием кислорода и без содержания кислорода: COXO SC PRO 04/35 (SOCO, China) с кислородом 12 шт. и без кислорода 12 шт., S-flexi 04/30 (Geosoft, Russia) с кис-

лородом 12 шт. и без кислорода 12 шт., Protaper Gold S1 (Densply Sirona, USA) с кислородом 12 шт. и без кислорода 12 шт., Mtwo 10/04(VDW, Germany) без кислорода 12 шт., Protaper Next X1 (Densply Sirona, USA) без кислорода 12 шт.

Хочется отметить, что наличие поверхностного слоя с повышенным содержанием кислорода обнаружено не во всех образцах. Если у производителей первой, второй и третьей группы среднее количество кислорода было порядка  $\approx 37\%$ , то у производителей медицинского инструмента четвертой и пятой группы кислород регистрировался на уровне чувствительности энергодисперсионного детектора.

Так как существенное количество кислорода находится только в приповерхностном слое, то в итоговой таблице для сравнения образцов 5 производителей были оставлены только Al, Ni, и Ti (Таблица 15).

Каждый инструмент был представлен образцом: а – до нагрузки, б – после нагрузки. По результатам рентгеноспектрального анализа образцов 5 производителей можно сделать следующие выводы (Таблица 15):

Таблица 15 – Элементный состав инструментов

<i>Образец</i>	<i>Al (at%)</i>	<i>Ti (at%)</i>	<i>Ni (at%)</i>
COXO SC PRO (1a)	21,03	40,92	38,06
COXO SC PRO (1б)	17,90	42,59	39,51
S-Flexi (2a)	17,85	48,37	33,79
S-flexi(2б)	10,78	49,80	39,41
Protaper Gold(3a)	10,50	45,37	44,13
Protaper Gold(3б)	11,36	44,89	43,74
Mtwo(4a)	2,37	49,44	48,19
Mtwo(4б)	6,29	47,35	46,36
Protaper Next (5a)	4,48	48,12	47,40
Protaper Next(5б)	7,87	46,50	45,63

1. В образцах 1 и 2 после отлома инструмента, в результате циклической нагрузки, содержание Al в приповерхностном слое падало. В образце 3 практически не менялось, а в образцах 4 и 5 количество Al в приповерхностном слое возрастало.



2. Соотношение титана к никелю больше различалось в образцах 1-го и 2-го производителей, а в образцах 3–5 соотношение составляло практически 1:1.

Агрегированные данные по элементному анализу никель-титановых инструментов сведены в Таблице 16.

Таблица 16 – Элементный состав поверхности до и после нагрузки

Доля	Инструмент	Элемент	Время наблюдения	Min	Q1	M	Q3	Max	n
at	protaper next x1	Al	До	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	3
		Al	После	7,8	7,8	7,9	7,9	7,9	3
		Si	До	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	3
		Si	После	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	3
		Ti	До	47,8	47,8	47,8	47,8	47,8	3
		Ti	После	45,9	46,2	46,4	46,6	46,9	3
		Ni	До	47,1	47,1	47,1	47,1	47,1	3
at	mtwo 10/04	Al	До	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	3
		Al	После	6,2	6,3	6,3	6,3	6,3	3
		Si	До	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	3
		Si	После	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	3
		Ti	До	49,3	49,3	49,3	49,3	49,3	3
		Ti	После	46,6	46,9	47,1	47,3	47,6	3
		Ni	До	48,0	48,0	48,0	48,0	48,0	3
		Ni	После	45,6	45,9	46,1	46,4	46,6	3
	protaper gold S1	O	До	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	3
		O	После	35,4	35,5	35,7	35,9	36,1	3
		Al	До	6,6	6,6	8,5	10,5	10,5	6
		Al	После	6,8	6,9	9,1	11,3	11,4	6
		Si	До	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	6
		Si	После	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	6
		Ti	До	30,0	30,0	37,6	45,2	45,2	6
		Ti	После	28,7	29,0	37,0	44,8	44,9	6
	S-flexi	Ni	До	29,2	29,2	36,6	44,0	44,0	6
		Ni	После	28,2	28,3	36,0	43,6	43,7	6
		O	До	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	3
		O	После	54,5	54,8	55,1	55,4	55,7	3
		Al	До	6,0	6,0	11,8	17,6	17,6	6
		Al	После	4,3	4,4	7,5	10,7	10,9	6
		Si	До	0,4	0,4	0,8	1,2	1,2	6
		Si	После	0,2	0,2	0,4	0,6	0,6	6
	coxo sc pro	Ti	До	18,4	18,4	33,1	47,8	47,8	6
		Ti	После	22,3	22,5	35,9	49,4	50,0	6
		Ni	До	12,9	12,9	23,2	33,4	33,4	6
		Ni	После	17,7	17,9	28,4	39,1	39,5	6
		O	До	37,1	37,1	37,1	37,1	37,1	3
		O	После	41,0	41,3	41,6	41,9	42,3	3
		Al	До	12,6	12,6	16,8	21,0	21,0	6
		Al	После	9,5	9,9	13,8	17,8	18,0	6
		Si	До	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	6
Si		После	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	6	
Ti	До	25,9	25,9	33,4	40,8	40,8	6		
Ti	После	24,3	25,3	34,0	42,3	42,8	6		
Ni	До	24,2	24,2	31,1	37,9	37,9	6		
Ni	После	23,3	23,6	31,4	39,2	39,7	6		

Продолжение таблицы 16

Доля	Инструмент	Элемент	Время наблюдения	Min	Q1	M	Q3	Max	n
wt	protaper next x1	Al	До	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	3
		Al	После	4,1	4,1	4,1	4,2	4,2	3
		Si	До	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	3
		Si	После	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	3
		Ti	До	44,1	44,1	44,1	44,1	44,1	3
		Ti	После	43,0	43,2	43,5	43,7	43,9	3
		Ni	До	53,3	53,3	53,3	53,3	53,3	3
		Ni	После	51,9	52,1	52,3	52,5	52,7	3
wt	mtwo 10/04	Al	До	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	3
		Al	После	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3
		Si	До	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	3
		Si	После	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	3
		Ti	До	44,9	44,9	44,9	44,9	44,9	3
		Ti	После	43,4	43,6	43,8	44,1	44,3	3
		Ni	До	53,7	53,7	53,7	53,7	53,7	3
		Ni	После	52,2	52,4	52,6	52,8	53,0	3
	protaper gold S1	O	До	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	3
		O	После	14,9	14,9	15,0	15,1	15,1	3
		Al	До	4,6	4,6	5,1	5,6	5,6	6
		Al	После	4,8	4,9	5,5	6,1	6,2	6
		Si	До	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	6
		Si	После	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	6
		Ti	До	37,0	37,0	40,0	43,0	43,0	6
		Ti	После	36,1	36,5	39,8	42,7	42,8	6
		Ni	До	43,0	44,2	44,2	49,5	51,2	6
		Ni	После	43,4	43,6	47,4	51,0	51,1	6
	S-flexi	O	До	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	3
		O	После	27,8	28,0	28,2	28,3	28,5	3
		Al	До	5,8	5,8	7,9	10,0	10,0	6
		Al	После	3,7	3,8	4,8	5,8	5,9	6
		Si	До	0,4	0,4	0,6	0,7	0,7	6
		Si	После	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	6
		Ti	До	31,4	31,4	39,8	48,1	48,1	6
		Ti	После	34,1	34,5	41,2	47,6	47,7	6
		Ni	До	27,0	27,0	34,1	41,2	41,2	6
		Ni	После	33,4	33,5	39,8	46,2	46,4	6
	soxo sc pro	O	До	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	3
		O	После	18,8	18,9	19,0	19,1	19,1	3
		Al	До	9,4	9,4	10,7	11,9	11,9	6
		Al	После	7,5	7,6	8,7	9,9	10,1	6
Si		До	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	6	
Si		После	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	6	
Ti		До	34,5	34,5	37,8	41,1	41,1	6	
Ti		После	34,2	34,2	37,9	41,9	42,4	6	
Ni		До	39,5	39,5	43,1	46,8	46,8	6	
Ni		После	39,0	39,0	42,9	47,5	48,2	6	

*Примечание* – Значения представляют собой атомарную долю (%) – at или массовую долю (%) – wt. Min – минимум, Q1 – первый квартиль, M – медиана, Q3 – третий квартиль, Max – максимум, n – количество наблюдений

Рисунок 28 иллюстрирует данные, полученные в ходе элементного анализа 1.

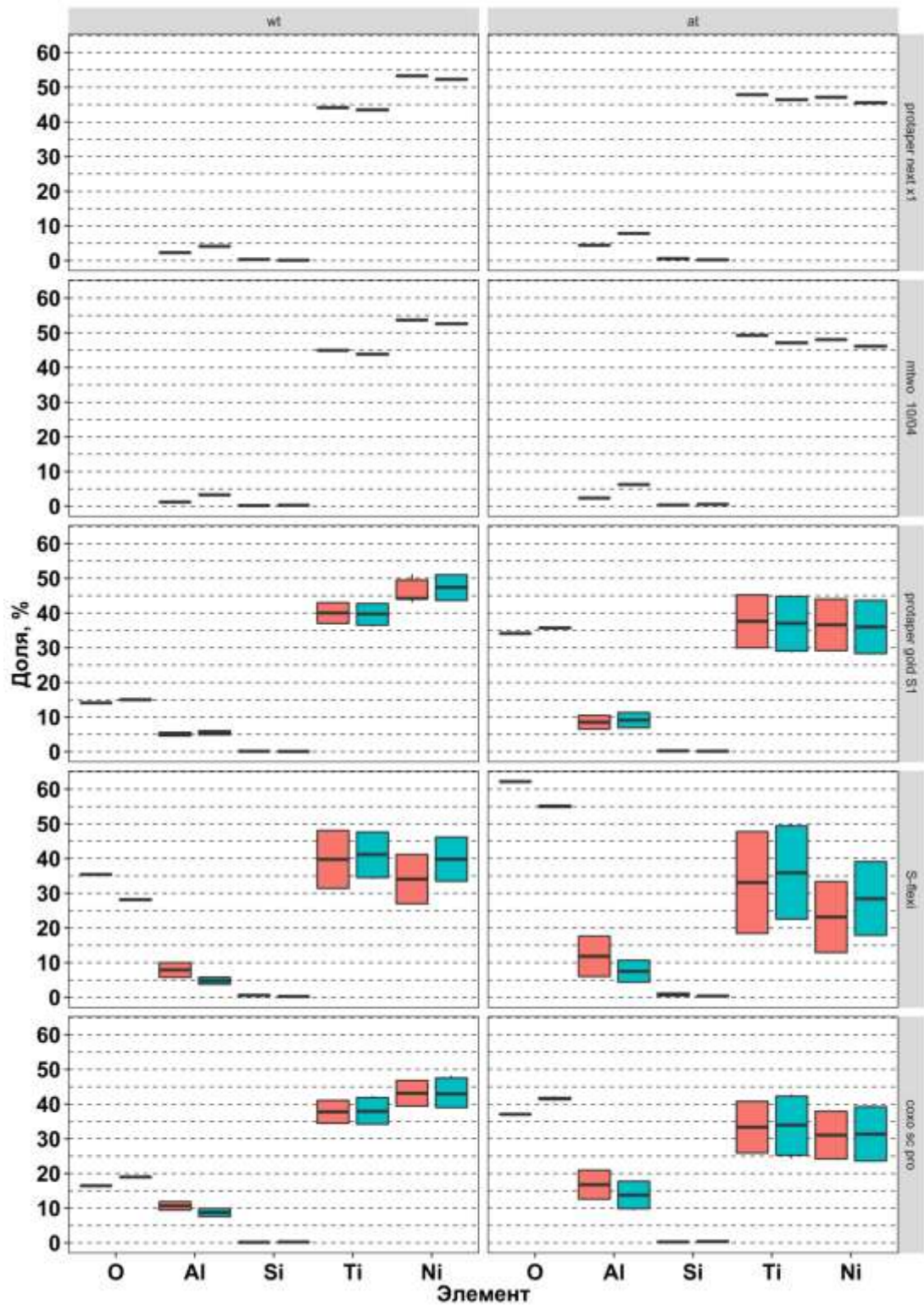


Рисунок 28 – Ящичковая диаграмма по данным элементного анализа 1

*Примечание* – Нижний усик показывает значение минимума (Min), нижняя граница ящичка – первый квартиль (Q1), черная полоса в ящичке – медиану (M), верхняя граница ящичка – третий квартиль (Q3), верхний усик – значение максимума (Max). Красным цветом отмечены данные, полученные до нагрузки, синим – после нагрузки. Атомарная доля (%) – at, массовая доля (%) – wt.

Результаты статистического сравнения данных элементного анализа 1 до и после нагрузки приведены в Таблице 17.

Таблица 17 – Статистическое сравнение данных элементного анализа 1 до и после нагрузки

<i>Доля</i>	<i>Инструмент</i>	<i>Элемент</i>	<i>Значение p</i>	<i>PM</i>	<i>LCL</i>	<i>UCL</i>
at	soxo sc pro	O	Нет дисперсии			
at	soxo sc pro	Al	0,167	3,05	11,13	-5,21
at	soxo sc pro	Si	0,161	-0,11	0,07	-0,29
at	soxo sc pro	Ti	0,870	-0,20	15,74	-16,45
at	soxo sc pro	Ni	1,000	-0,44	14,38	-15,12
at	S-flexi	O	Нет дисперсии			
at	S-flexi	Al	0,167	3,87	13,26	-4,70
at	S-flexi	Si	0,164	0,39	0,99	-0,15
at	S-flexi	Ti	0,167	-3,05	25,28	-31,08
at	S-flexi	Ni	0,167	-5,44	15,54	-26,27
at	protaper gold S1	O	Нет дисперсии			
at	protaper gold S1	Al	0,167	-0,63	3,56	-4,79
at	protaper gold S1	Si	0,161	0,07	0,16	-0,03
at	protaper gold S1	Ti	0,167	0,66	16,27	-14,84
at	protaper gold S1	Ni	0,167	0,66	15,71	-14,46
at	mtwo 10/04	O	Нет данных			
at	mtwo 10/04	Al	Нет дисперсии			
at	mtwo 10/04	Si	Нет дисперсии			
at	mtwo 10/04	Ti	Нет дисперсии			
at	mtwo 10/04	Ni	Нет дисперсии			
at	protaper next x1	O	Нет данных			
at	protaper next x1	Al	Нет дисперсии			
at	protaper next x1	Si	Нет дисперсии			
at	protaper next x1	Ti	Нет дисперсии			
at	protaper next x1	Ni	Нет дисперсии			
wt	soxo sc pro	O	Нет дисперсии			
wt	soxo sc pro	Al	0,167	1,90	4,33	-0,50
wt	soxo sc pro	Si	0,004	-0,07	-0,02	-0,13
wt	soxo sc pro	Ti	1,000	-0,52	6,86	-7,51
wt	soxo sc pro	Ni	0,870	0,30	7,80	-8,32
wt	S-flexi	O	Нет дисперсии			
wt	S-flexi	Al	0,062	3,09	6,24	-0,03
wt	S-flexi	Si	0,004	0,29	0,51	0,09
wt	S-flexi	Ti	1,000	-1,15	13,67	-16,22
wt	S-flexi	Ni	0,167	-5,78	7,73	-19,24
wt	protaper gold S1	O	Нет дисперсии			
wt	protaper gold S1	Al	0,167	-0,42	0,71	-1,53
wt	protaper gold S1	Si	0,004	0,04	0,07	0,01
wt	protaper gold S1	Ti	0,167	0,26	6,57	-5,72

Продолжение таблицы 17

<i>Доля</i>	<i>Инструмент</i>	<i>Элемент</i>	<i>Значение p</i>	<i>PM</i>	<i>LCL</i>	<i>UCL</i>
wt	protaper gold S1	Ni	0,686	0,19	7,48	-6,89
wt	mtwo 10/04	O	Нет данных			
wt	mtwo 10/04	Al	Нет дисперсии			
wt	mtwo 10/04	Si	Нет дисперсии			
wt	mtwo 10/04	Ti	Нет дисперсии			
wt	mtwo 10/04	Ni	Нет дисперсии			
wt	protaper next x1	O	Нет данных			
wt	protaper next x1	Al	Нет дисперсии			
wt	protaper next x1	Si	Нет дисперсии			
wt	protaper next x1	Ti	Нет дисперсии			
wt	protaper next x1	Ni	Нет дисперсии			

*Примечание* – PM – псевдомедиана разницы, LCL – нижняя граница 95%-го ДИ псевдомедианы разницы, UCL – верхняя граница 95%-го ДИ псевдомедианы разницы. Атомарная доля (%) – at, массовая доля (%) – wt

Агрегированные данные по элементному анализу 2 черного осадка сведены в Таблице 18.

Таблица 18 – Элементный состав поверхности в эксперименте А и В

<i>Эксперимент</i>	<i>Элемент</i>	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>M</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
A	O	1,0	16,7	38,0	38,3	54,1	5
B	O	0,5	7,9	20,0	24,9	39,5	5
A	Na	28,0	38,0	39,2	39,4	50,8	5
B	Na	21,2	26,7	36,7	39,8	40,4	5
A	Cl	0,8	14,8	16,8	20,4	48,3	5
B	Cl	1,3	17,3	21,4	24,2	59,1	5
A	Ca	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1
A	Ti	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	3
A	Ni	0,1	1,2	3,7	6,6	9,2	4
A	Cu	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	2
A	Zn	1,1	3,2	8,8	15,0	19,2	4

*Примечание* – Значения представляют собой атомарную долю (%). Min – минимум, Q1 – первый квартиль, M – медиана, Q3 – третий квартиль, Max – максимум, n – количество наблюдений

Рисунок 29 иллюстрирует данные, полученные в ходе элементного анализа 2.

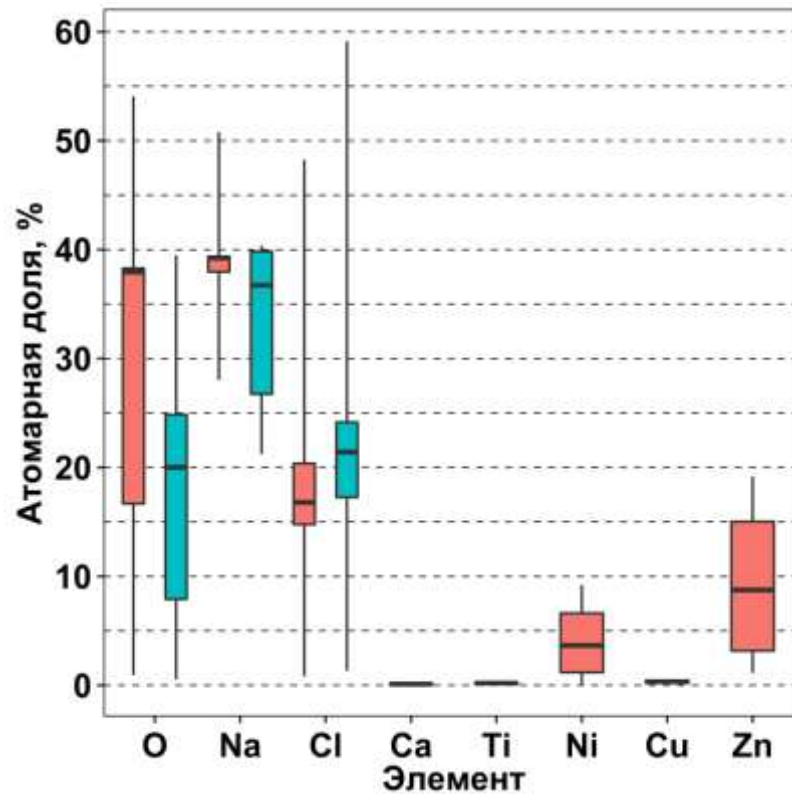


Рисунок 29 – Ящичковая диаграмма по данным элементного анализа 2

*Примечание* – Нижний усик показывает значение минимума (Min), нижняя граница ящичка – первый квартиль (Q1), черная полоса в ящичке – медиану (M), верхняя граница ящичка – третий квартиль (Q3), верхний усик – значение максимума (Max). Красным цветом отмечены данные эксперимента А, синим – эксперимента В

Между экспериментом А и экспериментом В не наблюдается статистически значимой разницы в содержании кислорода ( $p = 0,548$ ; псевдомедиана разницы 13,4 с 95%-м ДИ [-22,8; 37,8]), содержании натрия ( $p = 0,548$ ; псевдомедиана разницы 2,6 с 95%-м ДИ [-8,7; 18,1]) и содержании хлора ( $p = 0,421$ ; псевдомедиана разницы -3,8 с 95%-м ДИ [-42,3; 26,9]).

После циклической нагрузки у инструментов S-flexi 04/30 – содержание AL и O снижается, но увеличивается содержание Ti и Ni. У инструментов SOCO SC Pro 04/30 – содержание O сильно повышается.

Высокое содержание O на поверхности слоя и повышение содержания кислорода говорит о низком металлургическом качестве и технологии обработки по стандартам никель-титановых инструментов мартенситной фазы.











### 3.2.3. Результаты сканирующей электронной микроскопии поверхности поперечных отломов никель-титановых инструментов

На фрактограммах поверхности скола (отлома) поперечного сечения никель-титановых инструментов без нагрузки отмечалась однородная мелко ямочная структура с заостренными краями структурных элементов, размеры которых представлены в Таблице 19. На изображениях отчетливо были видны изотропные поры. Поры, в основном наблюдались в центральных зонах и размеры пор представлены в Таблице 19. На поверхности поперечного скола никель-титановых инструментов до нагрузки трещин и кратеров не отмечалось.

Таблица 19 – Фрактограммы поверхности скола поперечного сечения никель-титановых инструментов без нагрузки

<i>Разновидность</i>	<i>Изображение</i>	<i>Изотропные поры</i>	<i>Структурные элементы</i>	<i>Кратеры</i>
Protaper Gold				
S1		500 нм – 2 мкм	2 – 10 мкм	
S2		500 нм – 2,6 мкм	2 – 14 мкм	
F1		400 нм – 2,3 мкм	500 нм – 9 мкм	
F2		100 нм – 3 мкм	1 – 10 мкм	
F3		100 нм – 2,5 мкм	1–12 мкм	
Protaper Next				
X1		800 нм – 2,5 мкм	1,5–10,5 мкм	

Продолжение таблицы 19

<i>Разновидность</i>	<i>Изображение</i>	<i>Изотропные поры</i>	<i>Структурные элементы</i>	<i>Кратеры</i>
S-flexi				
4.20		400 нм – 2 мкм	1–5,5 мкм	
4.25		500 нм – 1,6 мкм	1,5–6 мкм	
6.25		500 нм – 1,4 мкм	500 нм – 6,5 мкм	
4.30		400 нм – 1 мкм	1–6 мкм	
4.35		300 нм – 2,5 мкм	600 нм – 6,5 мкм	
SOXO SX-PRO				
19.02		100 нм – 600 нм	500 нм – 3,3 мкм	
4,20		400 нм – 1,4 мкм	1–6,8 мкм	
4,25		400 нм – 1,6 мкм	900 нм – 6,8 мкм	
4,35		400 нм – 3 мкм	1,2 мкм – 4 мкм	
6,25		400 нм – 2 мкм	1,4–5,8 мкм	



Продолжение таблицы 19

<i>Разновидность</i>	<i>Изображение</i>	<i>Изотропные поры</i>	<i>Структурные элементы</i>	<i>Кратеры</i>
Mtwo				
10,04		600 нм – 2 мкм	2,3–10 мкм	

На фрактограммах поверхности скола (отлома) поперечного сечения никель-титановых инструментов, полученных в результате воздействия циклической нагрузки отмечалась неоднородная структура с более пологими краями клинообразных форм структурных элементов, размеры которых были больше чем в образцах без нагрузки. Данные представлены в Таблице 20.

На изображениях также отмечались изотропные поры, которые были сконцентрированы в центральных зонах и размеры пор имели тенденцию к увеличению, по сравнению с образцами без нагрузки. Данные представлены в Таблице 20.

Поры больших размеров частично сливались между собой вследствие нагрузок, образуя заметную трещину.


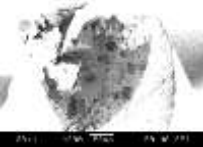
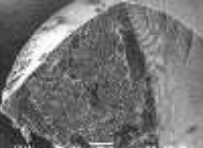







На поверхности скола образцов отмечались конгломераты сплава, возникшие при растяжении и отрыве.

В образцах Protaper Gold F3 и SOXO SC PRO 04.20 после нагрузки отмечались кратеры, размеры которых представлены в Таблице 20.

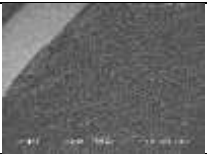






Таким образом, в виду особенностей металлургии никель-титановых инструментов аустенитной фазы и мартенситной фазы, характер отлома отличается. Никель-титановые инструменты аустенитной фазы (Protaper Next X1, Mtwo 10/04) имеют отлом после нагрузки в виде пор, равномерно распределённых по поверхности скола.

Никель-титановые инструменты с мартенситной фазой (S-flexi, Protaper Gold и Soco SC PRO) после нагрузки имеют отлом с рваным рисунком.

Таблица 20 – Фрактограммы поверхности скола поперечного сечения никель-титановых инструментов, полученные в результате воздействия циклической нагрузки

<i>Разновидность</i>	<i>Изображение</i>	<i>Изотропные поры</i>	<i>Структурные элементы</i>	<i>Кратеры</i>
Protaper Gold				
S1		400 – 800 нм	1–6 мкм	
S2		1– 2 мкм	1,5–27 мкм	
F1		500 нм – 1,5 мкм	1–7 мкм	
F2		600 нм – 1,5 мкм	700 нм – 6 мкм	
F3		500 нм – 8,5 мкм	5,5–14 мкм	23–32 мкм
Protaper Next				
X1		700 нм– 4 мкм	1,8–16,6 мкм	
S-flexi				
4,20		500 нм – 2 мкм	1–4,5 мкм	
4,25		400 нм – 1 мкм	1–55 мкм	
6,25		300 нм – 1,7 мкм	500 нм – 4,7 мкм	
4,30		400 нм – 2 мкм	1–7,5 мкм	

Продолжение Таблицы 20

<i>Разновидность</i>	<i>Изображение</i>	<i>Изотропные поры</i>	<i>Структурные элементы</i>	<i>Кратеры</i>
4,35		300 нм – 2,4 мкм	600 нм – 7,5 мкм	
SOXO SX-PRO				
19,02		700 нм – 1,2 мкм	3,3–8,3 мкм	
4,20		300 нм – 3,4 мкм	800 нм – 9,3 мкм	22,5 мкм
4,25		200 нм – 2 мкм	5–10 мкм	
4,35		500 нм – 1,5 мкм	1–7,5 мкм	
6,25		400 нм – 1,4 мкм	1–8,5 мкм	
Mtwo				
10,04		600 нм – 3,6 мкм	1–11,7 мкм	

Инструменты Protaper Gold и Soco SC PRO отмечаются тем, что имеют кратерообразные дефекты и большие поры хаотичного расположения, а также линии излома разорванного типа, что не характерно для никель-титанового инструмента с мартенситной фазой S-flexi после нагрузки. Поры в умеренном количестве, равномерно распределены по поверхности скола и, в основном, сконцентрированы в центральных зонах. Кратерообразные дефекты и разорванные края отмечаются только на инструменте S-flexi 04/20.

### 3.2.4. Результаты капиллярной дефектоскопии поверхности никель-титановых инструментов

В результате изучения циклической усталости никель-титановых инструментов было отмечено, что в инструментах, которые были подвержены 70–80% циклической нагрузке от 100% возможной, появляются первые признаки, возникающего отлома инструмента.

На никель-титановых инструментах с мартенситной фазой при 70–80% нагрузки от возможного, отмечалось отсутствие золотистого напыления – нитрит титана в области предполагаемого отлома (Рисунок 30).



Рисунок 30 – Protaper X1 и SOCO SC PRO 25/06: отмечается отсутствие золотистого напыления в области предполагаемого отлома

При детальном осмотре области отсутствия золотистого напыления под сканирующей электронной микроскопией, наблюдались кратеры (Рисунок 31).

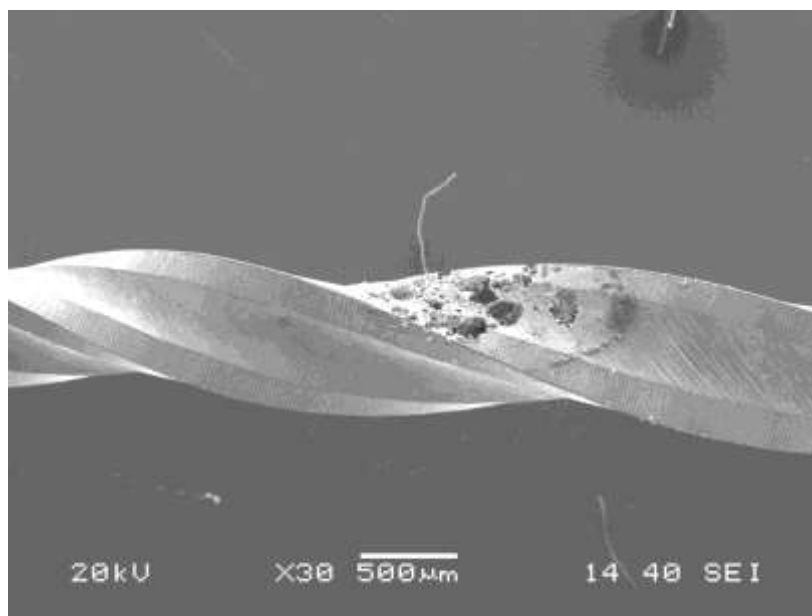


Рисунок 31 – На фрактограмме поверхности pr\_gold f3, полученной в результате серии рабочих нагрузок, отмечаются крупные глубокие кратеры размерами от 23 мкм до 32 мкм

Размер кратеров позволяет использовать красители с высокой чувствительностью (I класса 1–10 мкм).

При проведении капиллярной дефектоскопии 10 никель-титановых инструментов различных производителей, подвергшихся 70–80% циклической нагрузке, наблюдалось прокрашивание участков, возникающего отлома инструмента (Рисунки 32, 33).

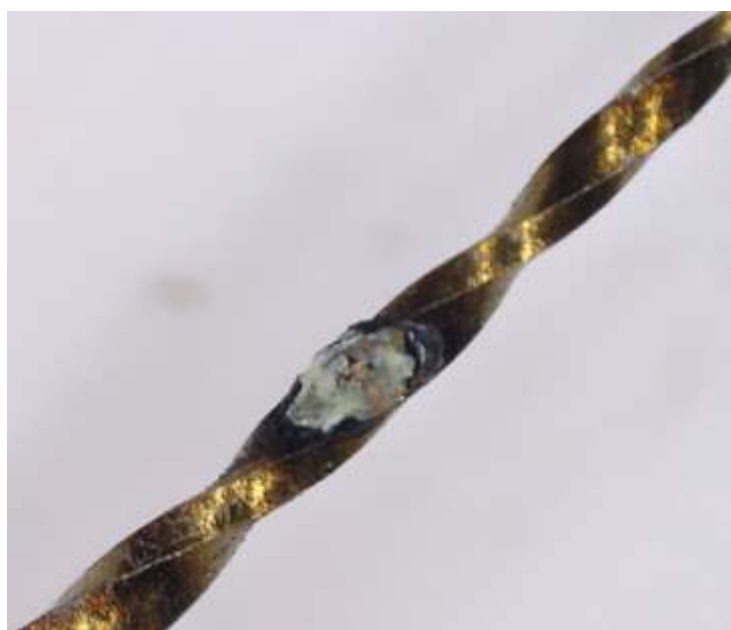


Рисунок 32 – Protaper gold F3 перед проведением капиллярной дефектоскопии



Рисунок 33 – Protaper gold F3, прокрашивание дефекта при проведении капиллярной дефектоскопии

Результаты исследования свидетельствуют о том, что капиллярная дефектоскопия является методом, позволяющим судить о возможности использования никель-титанового инструмента до его введения в корневой канал.

### **3.3. Результаты клинико-лабораторного изучения эффективности гибридного способа пломбирования корневых каналов зубов**

#### **3.3.1. Результаты лабораторного изучения эффективности гибридного способа пломбирования корневых каналов зубов**

Изображения шлифов зубов, полученные с помощью сканирующей электронной микроскопии, при различных способах пломбирования корневых каналов представлены на Рисунках 34, 35, 36.

При рассмотрении шлифов зубов, запломбированных способом вертикальной конденсации было обнаружено, что поверхность спила в поперечном сечении была гладкой, четко различались дентин и пломбировочный материал по центру корня зуба, отмечалась усадка материала по всему периметру, ширина щели колебалась в среднем от 3,41 мкм до 140 мкм (Рисунок 34). В obturационном материале отмечались кратеры, ширина которых колебалась от 75 мкм до 143 мкм.

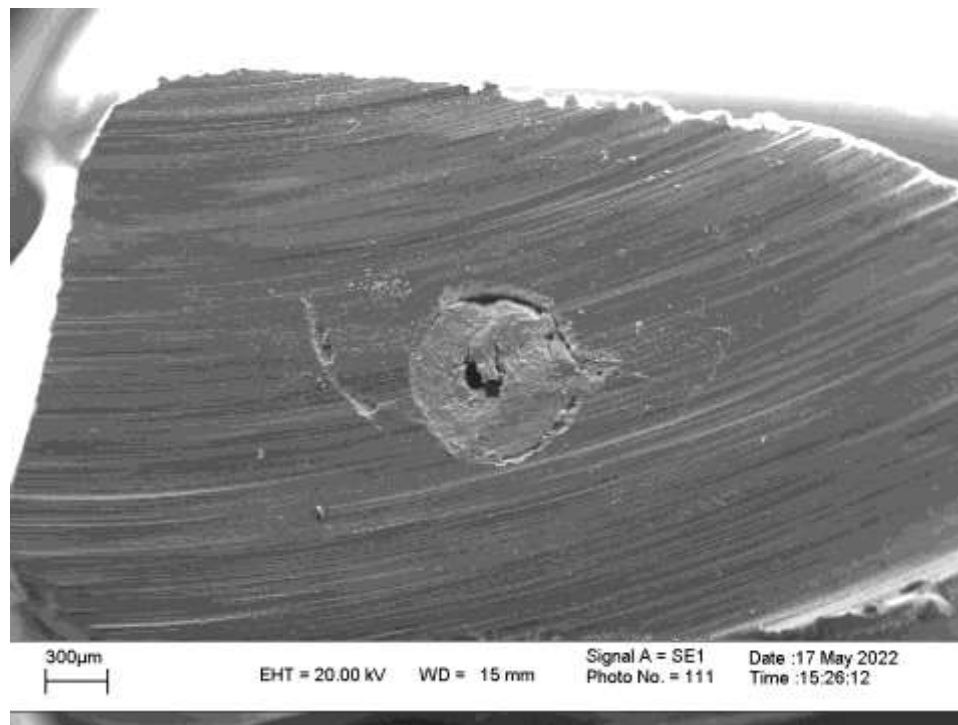


Рисунок 34 – Шлиф зуба, запломбированного способом вертикальной конденсации

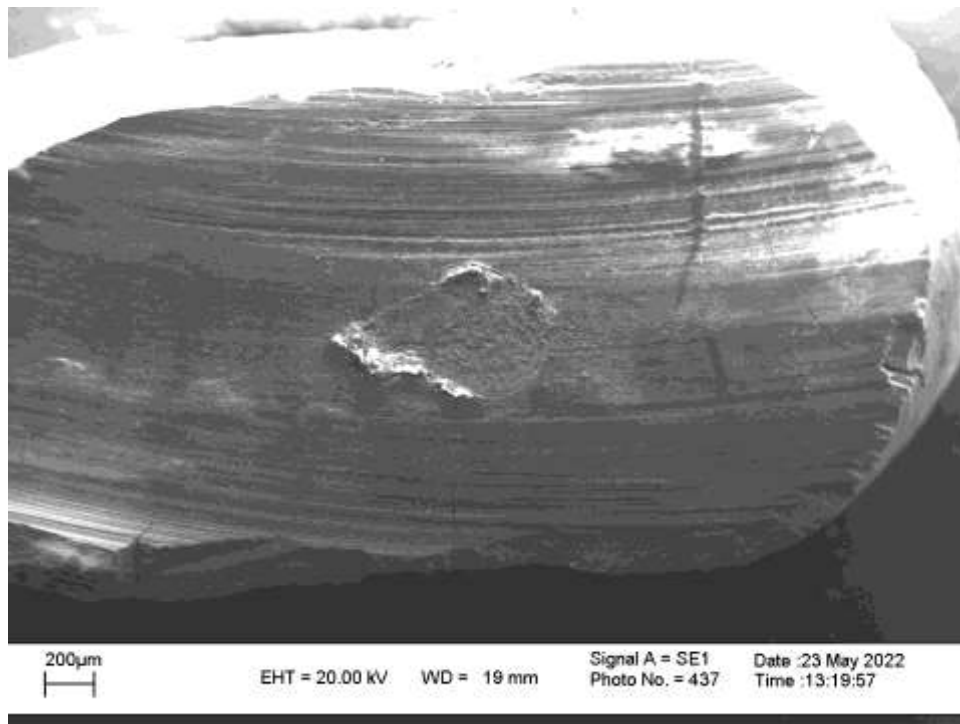


Рисунок 35 - Шлиф зуба, запломбированного способом гибридной конденсации

На шлифах зубов, запломбированных способом гибридной конденсацией, поверхность спила в поперечном сечении была гладкой, четко различались дентин и пломбировочный материал по центру корня зуба, определялась усадка пломбировочного материала по всему периметру, минимальна ширина щели колебалась в среднем от 0,82 до 12,52 мкм (Рисунок 35).

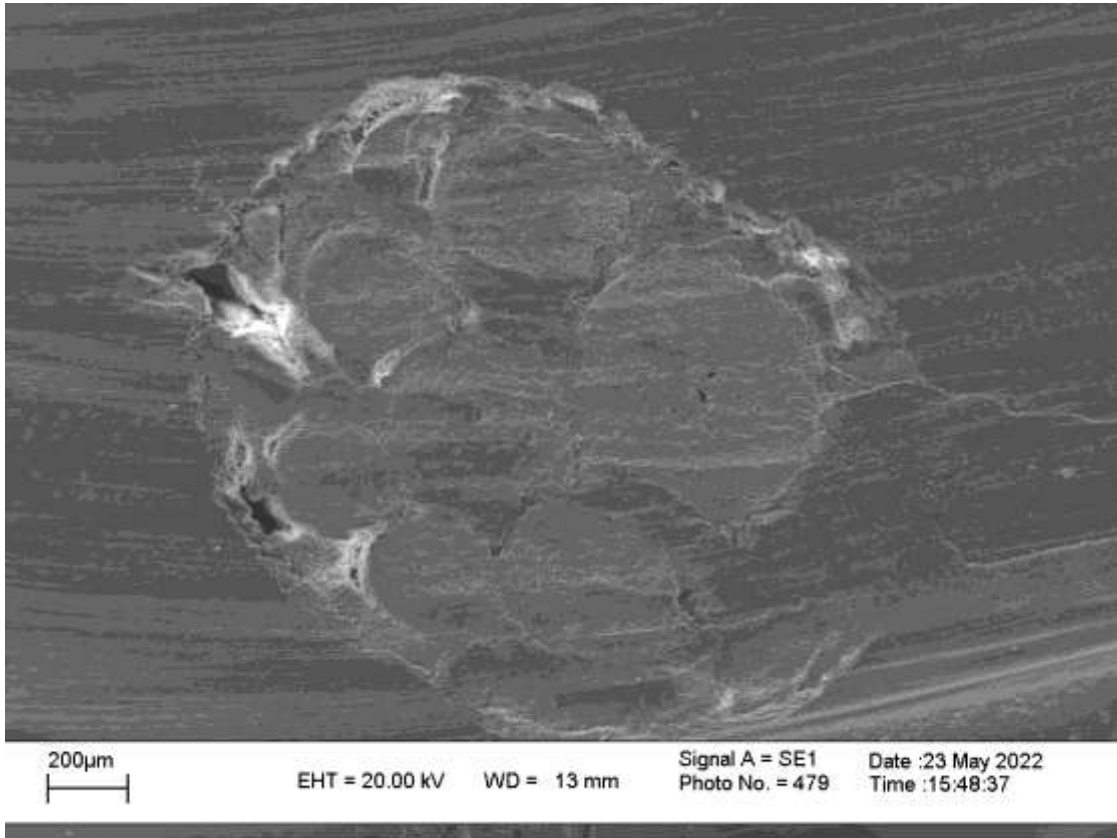


Рисунок 36 – Шлиф зуба, запломбированного способом латеральной конденсации

На шлифах зубов, запломбированных способом латеральной конденсацией, поверхность спила в поперечном сечении была гладкой, четко различались дентин и пломбировочный материал по центру корня зуба, четко прослеживался силер, заполняющий просвет между гуттаперчевыми штифтами и стенкой канала зуба. Отмечалась неравномерная усадка материала, с шириной щели 3,44 до 86,16 мкм и кратерами до 97,7 мкм (Рисунок 36).

Агрегированные данные по ширине трещин между материалом и дентином для каждой из проведенных серий измерений сведены в Таблице 21.



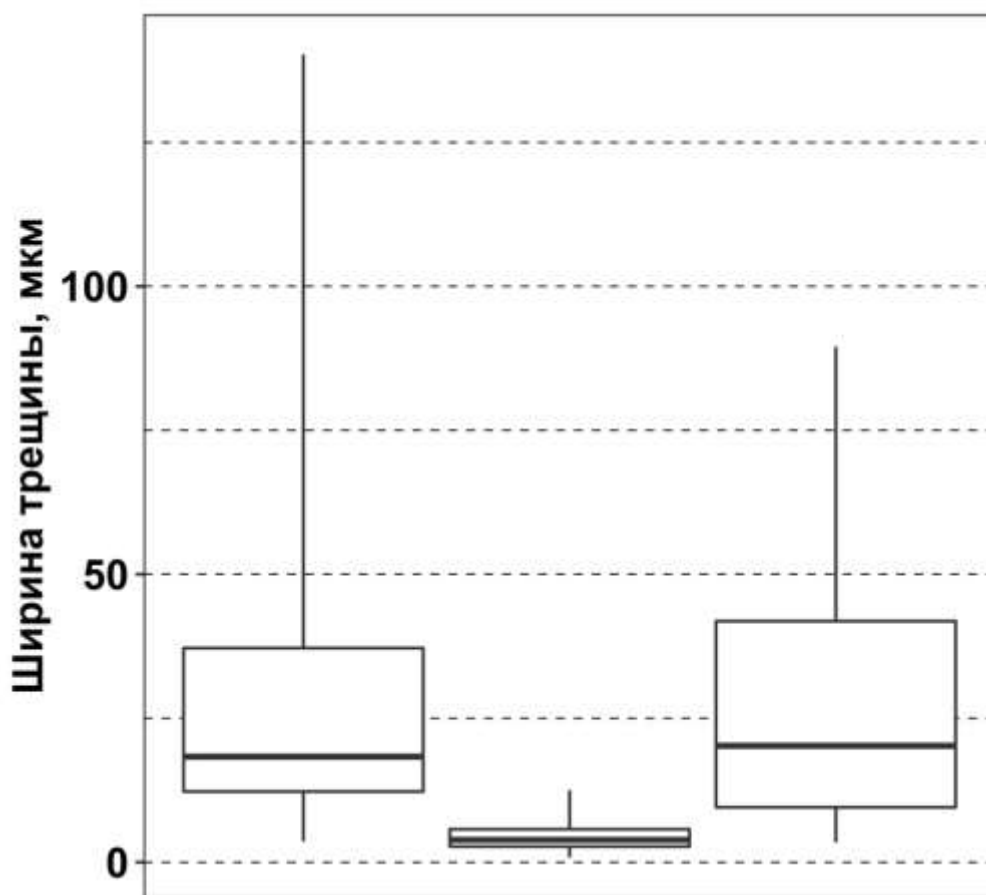
Таблица 21 – Ширина трещин между материалом и дентином для каждой из проведенных серий измерений

<i>Способ конденсации</i>	<i>Серия</i>	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>M</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
вертикальная	1.1	5,618	6,552	8,044	10,313	11,582	5
	1.10	7,912	12,173	12,433	18,084	19,064	5
	1.11	8,319	11,403	12,805	14,327	16,648	8
	1.12	10,270	12,862	17,352	18,596	24,810	7
	1.13	10,090	15,097	22,198	36,631	63,982	5
	1.14	47,025	82,710	95,085	96,445	99,083	4
	1.15	22,236	24,969	25,579	27,866	67,859	5
	1.16	73,179	76,825	80,470	83,818	87,166	3
	1.17	25,569	25,940	27,230	28,720	55,291	5
	1.18	28,406	34,901	38,759	44,117	55,116	4
	1.19	90,406	96,773	100,144	110,809	139,059	4
	1.2	3,618	6,224	6,613	10,069	13,793	7
	1.20	48,886	97,789	116,609	120,138	140,256	5
	1.3	6,842	13,742	14,204	14,374	14,519	5
	1.4	12,391	13,792	14,365	14,549	14,786	4
	1.5	9,846	12,100	14,353	19,186	24,018	3
	1.6	9,906	11,375	16,293	22,117	26,303	4
	1.7	28,769	28,981	29,193	33,248	37,302	3
	1.8	24,883	30,333	32,830	37,276	48,571	4
1.9	12,768	13,452	14,406	17,581	44,723	5	
гибридная	2.1	2,393	2,553	3,500	4,894	6,433	8
	2.10	3,007	4,072	6,062	7,093	7,667	11
	2.11	2,239	2,981	3,875	4,254	4,778	8
	2.12	1,176	1,274	1,616	1,999	2,385	6
	2.13	0,828	1,335	1,335	1,571	2,222	5
	2.14	2,084	2,383	2,637	3,249	3,878	8
	2.2	3,335	3,522	4,350	4,873	5,079	6
	2.3	3,390	3,839	4,881	5,098	5,603	6
	2.4	5,151	6,038	6,317	6,799	8,415	6
	2.5	3,414	4,715	7,681	11,467	12,520	6
	2.6	2,290	3,048	3,193	3,515	3,892	8
	2.7	2,242	2,664	2,733	3,668	4,631	8
	2.8	3,731	4,285	4,742	7,408	9,109	6
2.9	6,424	7,573	8,406	9,116	9,629	7	
латеральная	3.1	16,030	21,125	37,137	65,052	77,259	6
	3.10	3,448	4,995	6,543	7,243	8,288	6
	3.2	35,910	36,847	48,357	56,674	86,162	9
	3.3	14,552	33,294	39,612	45,981	56,212	6
	3.4	43,689	64,301	84,913	87,225	89,536	3
	3.5	15,965	19,156	21,689	32,453	60,336	4
	3.6	6,740	8,986	10,172	12,356	42,210	9
	3.7	6,740	8,204	9,125	18,911	42,210	6
	3.8	9,818	13,998	21,048	25,113	41,512	10
3.9	4,651	7,848	12,789	13,000	18,928	8	

*Примечание* – Данные приведены в микрометрах. Min – минимум, Q1 – первый квартиль, M – медиана, Q3 – третий квартиль, Max – максимум, n – количество наблюдений

Агрегированные данные по ширине трещин между материалом и дентином для каждого из рассматриваемых способов пломбирования корневых каналов зубов сведены в Таблице 22.

Рисунок 37 иллюстрирует данные по ширине трещин между материалом и дентином для каждого из рассматриваемых способов пломбирования корневых каналов зубов.



### Вертикальный Гибридный Латеральный

Рисунок 37 – Ящичковая диаграмма по ширине трещин между материалом и дентином для каждого трех способов пломбирования корневых каналов

*Примечание* – Нижний усик показывает значение минимума (Min), нижняя граница ящичка – первый квартиль (Q1), черная полоса в ящичке – медиану (M), верхняя граница ящичка – третий квартиль (Q3), верхний усик – значение максимума (Max)

Таблица 22 – Ширина трещин между материалом и дентином при различных способах пломбирования корневых каналов зубов

<i>Способ конденсации</i>	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>M</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
Вертикальный	3,618	12,282	18,332	37,184	140,256	95
Гибридный	0,828	2,722	3,878	5,738	12,520	99
Латеральный	3,448	9,541	20,220	41,861	89,536	67
<i>Примечание – Данные приведены в микрометрах. Min – минимум, Q1 – первый квартиль, M – медиана, Q3 – третий квартиль, Max – максимум, n – количество наблюдений</i>						

Наблюдалась статистически значимая разница в ширине трещины между материалом и дентином ( $p < 0,001$ ; псевдомедиана разницы 14,289 мкм с 95%-м ДИ 11,372–19,715 мкм) при сравнении вертикального и гибридного способов пломбирования корневых каналов зубов.

При рассмотрении вертикального и латерального способов пломбирования корневых каналов зубов не наблюдалось статистически значимой разницы в ширине трещины между материалом и дентином ( $p = 0,450$ ; псевдомедиана разницы 1,692 мкм с 95%-м ДИ [-3,094; 5,728] мкм).

При сравнении гибридного и латерального способов пломбирования корневых каналов зубов наблюдалась статистически значимая разница в ширине трещины между материалом и дентином ( $p < 0,001$ ; псевдомедиана разницы 15,034 мкм с 95%-м ДИ [-20,151; -10,362] мкм).

### **3.3.2. Результаты изучения клинической эффективности гибридного способа пломбирования корневых каналов зубов при лечении пульпита**

Результаты обследования пациентов всех групп до лечения показали, что основные жалобы пациентов с различными формами пульпита заключались в наличие боли, которая возникала от всех видов раздражителей (прием пищи, температурные раздражители и т.д) и сохранялась длительное время после устране-

ния раздражителей. Боли могли возникать самопроизвольно, чаще в ночное время, когда болевые ощущения усиливались. Кроме того, пациенты испытывали дискомфорт в той области, где находился пораженный зуб. Некоторые пациенты отмечали неприятный запах изо рта.

При зондировании часто обнаруживалась глубокая кариозная полость, а в зубах, которые ранее лечили по поводу кариеса, отмечалось нарушение краевого прилегания реставрации. Пациенты часто отмечали резкую болезненность при зондировании кариозной полости. Перкуссия причинных зубов у части пациентов была чувствительна и отличалась от перкуторной реакции рядом стоящих интактных зубов. Пальпация слизистой оболочки, альвеолярного отростка и переходной складки была безболезненной. При осмотре слизистой оболочки в области пораженного зуба гиперемии, отёка, наличия свищевых ходов и других признаков воспаления не отмечалось. Показания электроодонтодиагностики находились в пределах от 35 мкА до 80 мкА. При рентгенологическом обследовании ни у одного пациента из всех исследуемых групп патологических периапикальных изменений не было обнаружено.

Анализ результатов обследования, который проводился в течение двух недель после пломбирования зубов, показал, что в 1 группе, где при лечении пульпита применялся латеральный способ конденсации, у 8 больных, что составило 14,8% от всех пациентов, входивших в эту группу, наблюдались постпломбировочные боли. Эти боли носили умеренный характер и проявлялись в неприятных ощущениях при накусывании на зуб, вертикальная перкуссия этих зубов была болезненна.

Во 2 группе, где при лечении пульпита использовался вертикальный способ конденсации, подобная симптоматика наблюдалась у 11 больных (20,4%).

В третьей группе, где при лечении пульпита использовался гибридный способ конденсации, постпломбировочные боли наблюдались у 10 больных, что составило 18,5%.

Постпломбировочные боли у больных всех исследуемых групп исчезали на 5-8 день после пломбирования без дополнительной медикаментозной терапии.

Таким образом, данные, полученные в ближайшие сроки после пломбирования корневых каналов зубов, свидетельствует о том, что применение гибридного способа конденсации не приводит к увеличению количества пациентов, предъявляющих жалобы на постпломбировочные боли и не удлиняет сроки адаптации тканей периодонта после пломбирования корневых каналов зубов.

Через 6 месяцев после лечения пациенты 1 группы жалоб не предъявляли. Однако, при рентгенологическом обследовании у двух пациентов этой группы (3,7%), где при пломбировании корневых каналов использовался способ латеральной конденсации, наблюдалось расширение периодонтальной щели.

Во второй группе, где при пломбировании корневых каналов использовался способ вертикальной конденсации, у трех пациентов (5,6%) наблюдалось расширение периодонтальной щели. При этом, один из этих пациентов предъявлял жалобы на дискомфорт при накусывании на зуб, который подвергся эндодонтическому лечению по поводу пульпита 6 месяцев назад. Вертикальная перкуссия этого зуба была слабо болезненной.

В третьей группе, где при пломбировании корневых каналов использовался гибридный способ конденсации, у всех пациентов жалобы отсутствовали. При рентгенологическом обследовании ни у одного пациента патологических периапикальных изменений обнаружено не было.

Через 12 месяцев после лечения один из больных 1 группы предъявлял жалобы на неприятные ощущения при накусывании на зуб, перкуссия этого зуба была слабо болезненной. На рентгенограмме данного зуба наблюдалось разрежение костной ткани, размером до 2 мм. Еще у двух больных этой группы при рентгенологическом обследовании наблюдалось расширение периодонтальной щели. У остальных больных этой группы 94,4% жалобы и патологические периапикальные изменения отсутствовали.

Через год после лечения двое больных второй группы предъявляли жалобы на неприятные ощущения при накусывание на зубы, корневые каналы которых были запломбированы способом вертикальной конденсации. При рентгенологическом обследовании у этих пациентов определялось разрежение костной ткани в

периапикальной области, размером до 2 мм. Кроме того, еще у двух пациентов этой группы отмечалось расширение периодонтальной щели в зубах, которые год назад подверглись эндодонтическому лечению. У остальных больных этой группы 92,6% результаты лечения были признаны успешными, так как у этих пациентов жалобы и патологические периапикальные изменения отсутствовали.

В третьей группе через год после лечения, у всех больных, жалобы отсутствовали. Однако, у одного пациента этой группы наблюдалось расширение периодонтальной щели. Лечение было признано успешным у 98,1%.

Таким образом, анализ отдаленных результатов лечения показал, что, при использовании латерального и вертикального способов конденсации при пломбировании корневых каналов зубов, уже через 6 месяцев после лечения наблюдались осложнения, которые составили в 1 группе 3,7%, во второй – 5,6%. Через год после лечения в той группе, где использовали латеральный способ конденсации, количество осложнений увеличилось до 5,6%, а в группе, где использовали вертикальную конденсацию, процент осложнений увеличился до 7,4%. Лучшие результаты лечения, через год после пломбирования корневых каналов зубов, были получены в группе, где применялся способ гибридной конденсации. Лечение было успешным у 98,1%. В других группах этот показатель был хуже. При использовании способа латеральной конденсации он составил 94,4%, а при использовании способа вертикальной конденсации – 92,6%.

Результаты клинических наблюдений показывают высокую эффективность применения гибридного способа конденсации при пломбировании корневых каналов зубов. Его использование при лечении пульпита снижает количество осложнений, и, препятствуя развитию периодонтита, способствует снижению потребности в повторном эндодонтическом лечении.

## ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Оптимизация эндодонтического лечения является одной из сложных и актуальных задач современной стоматологии. Успех эндодонтического лечения достигается благодаря целому ряду факторов, к которым относятся: эффективное удаление биопленки инфицированного дентина и пульпы, за счет механической и медикаментозной обработки корневых каналов. Заключительным этапом эндодонтического лечения является качественная obturation корневых каналов, которая должна обеспечить абсолютный герметизм, т. е. закрыть доступ к питательной среде для микроорганизмов и микроподтеканий. Однако система корневых каналов имеет сложное анатомическое строение. Корневые каналы могут содержать изгибы разной степени сложности, различные вариации конфигурации каналов, что отражено в классификации Vertucci. Учитывая такую сложность анатомии системы корневых каналов, становится ясно, что даже после механической и медикаментозной обработки в корневых каналах могут оставаться микроорганизмы. Это приводит к развитию осложнений и обуславливает необходимость проведения повторного эндодонтического лечения.

Существуют различные методики распломбирования гуттаперчи в корневых каналах: механическое удаление филлера и силера с помощью ручных и машинных инструментов при использовании сольвентов или без них. Механическая распломбировка осуществляется ручными и машинными инструментами по мере перехода от большего размера к меньшему [16]. При данной технике распломбировки существует высокий риск отлома инструмента, перфорации, выведение obturationного материала за пределы корня [249].

В качестве сольвентов используются медикаменты на основе хлороформа, скипидара и масел растительного происхождения. Филлер и силер растворяются в хлороформе, галотане и скипидаре [253]. Распломбировка obturationного материала может осуществляться с использованием сольвента, при этом, в качестве сольвента используется хлороформ. Несомненно, использование данного сольвента ускоряет процесс распломбировки гуттаперчи, но следует помнить, что

хлороформ отнесен IARC (международное агентство по изучению рака) к группе 2B, в качестве возможного человеческого канцерогена [101]. Еще один известный способ механической распломбировки с использованием сольвента – это использование скипидара. Скипидар ускоряет процесс распломбировки, но также относится к категории токсичных веществ.

Не токсичными сольвентами являются сольвенты на основе эфирных масел, к которым относится эвкалиптовое масло. В исследовании отмечено, что эвкалиптовое масло, в сравнении с хлороформом и скипидаром, уступает по своей растворяющей способности. Однако при попадании в периодонт, по данным гистоморфологического исследования, деструктивных изменений в костной ткани не наблюдается. Опираясь на растворяющую способность эвкалиптового масла, было проведено лабораторное сравнительное исследование растворяющей способности различных эфирных масел в отношении филлера и силера. Исследование проводилось *in vitro* – в чашке Петри растворяли гуттаперчевые штифты и силер (АН plus) в различных эфирных маслах. При этом использовались гвоздичное, мятное, апельсиновое, эвкалиптовое, грейпфрутовое масла. Для чистоты эксперимента, процесс растворения повторялся три раза для каждого масла, а затем полученные результаты, в виде данных о начале и завершении растворения, подвергались статистической обработке. Было установлено, что в отношении силера, все эфирные масла обладают одинаково высокой растворяющей способностью. В отношении гуттаперчевого филлера, растворяющая способность исследуемых масел отличалась. По данным лабораторного исследования среди всех эфирных масел выделялось грейпфрутовое эфирное масло. Оно по времени начала растворения статистически значимо отличалось от гвоздичного ( $p = 0,002$ ), эвкалиптового ( $p = 0,004$ ), мятного ( $p = 0,001$ ) и апельсинового ( $p = 0,008$ ). По времени завершения растворения грейпфрутовое масло статистически значимо отличалось от гвоздичного ( $p = 0,002$ ), эвкалиптового ( $p = 0,004$ ), мятного ( $p = 0,001$ ) и апельсинового ( $p = 0,004$ ).

Масляные растворы ухудшают качество адгезии obturационного материала. По данным лабораторного исследования, мицеллярная вода и гипохлорит натрия



обладают способностью к солубилизации сольвентов. Дентин состоит из дентинных трубочек, поэтому важен эффект смачиваемости, соответственно коэффициенту поверхностного натяжения. По данным лабораторного исследования, коэффициент поверхностного натяжения грейпфрутового эфирного масла имеет значимое отличие от эвкалиптового эфирного масла ( $p < 0,001$ ), мятного эфирного масла ( $p < 0,001$ ) и гвоздичного эфирного масла ( $p < 0,001$ ). При этом, статистическая разница с апельсиновым эфирным маслом ( $p = 0,015$ ) не отмечалась. Лабораторные исследования коэффициента поверхностного натяжения мицеллярной воды был ниже, чем у других растворов и показал статистически значимые отличия от коэффициента поверхностного натяжения гипохлорита натрия 1% ( $p < 0,001$ ), гипохлорита натрия 3,25% ( $p < 0,001$ ) и гипохлорита натрия 5% ( $p < 0,001$ ). Следует отметить, что несмотря на то, что коэффициент поверхностного натяжения гипохлорита натрия 1% не показал статистически значимых отличий от коэффициента поверхностного натяжения гипохлорита натрия 3,25% ( $p = 0,459$ ) и гипохлорита натрия 5% ( $p = 0,085$ ), наблюдается тенденция снижения коэффициента поверхностного натяжения при снижении концентрации раствора гипохлорита натрия.

При изучении моющей активности различных ирригационных растворов установлено, что в отношении грейпфрутового эфирного масла наибольшей моющей способностью обладает мицеллярная вода. При сравнении растворов гипохлорита натрия разной концентрации, этот показатель был выше у 1% раствора гипохлорита натрия, нагретого до  $45^{\circ}\text{C}$ , по сравнению с ненагретыми 3.25% и 5% растворов гипохлорита натрия.

При лабораторном исследовании различных способов распломбировки корневых каналов зубов, проведенным на удаленных зубах, ранее запломбированных с использованием гуттаперчи, было установлено, что наиболее эффективным способом распломбировки являлся способ, где распломбировку корневого канала проводили с использованием грейпфрутового эфирного масла в сочетании с ручными и машинными инструментами, а ирригацию корневого канала осуществляли с использованием 1% раствора гипохлорита натрия, нагретого до  $45^{\circ}\text{C}$  и 17%

ЭДТА. Отмечено, что поверхность шлифа имела ярко выраженную пористую чистую структуру, четко прослеживались дентинные каналы без смазанного слоя и остатков филлера и силера.

В последние годы использование никель-титановых инструментов является неотъемлемой частью эндодонтического лечения. На сегодняшний день существует несколько десятков различных никель-титановых систем. Никель-титановые инструменты по данным производителей имеют схожие характеристики. Однако, эти характеристики часто носят рекламный характер, а выбор инструмента врачом происходит под давлением агрессивного маркетинга компаний-производителей и их дилеров. При этом, каждая система предлагает использование таких инструментов во всех клинических случаях. В связи с этим появился научно обоснованный стимул к исследованию никель-титановых инструментов для эндодонтического лечения.

Во время механической обработки корневых каналов, никель-титановые инструменты испытывают циклическую и торсионную нагрузки [185]. Циклическая и торсионная нагрузки приводят к усталости металла и, соответственно, к его отлому [144]. Ввиду высокого риска отлома никель-титановых инструментов, с момента их появления были попытки моделирования искусственных условий для оценки циклической усталости. В экспериментальном исследовании по оценке циклической усталости был смоделирован искусственный канал, путем сгибания стеклянных и металлических трубочек под углом  $90^{\circ}$ С [190]. Недостатком данной методики оценки циклической усталости никель-титановых инструментов являются: один угол изгиба канала, отсутствие визуального контроля, не дифференцированный подход к кривизне канала, непрерывное вращение никель-титанового инструмента до момента отлома. В следующем исследовании по оценке циклической усталости никель-титановых инструментов использовалась наклонная плоскость. Инструмент фиксировался и упирался в плоскость под углом  $75^{\circ}$ , с канавкой по центру, наклонная плоскость использовалась для создания кривизны вращения инструмента [158]. Недостатком данной методики оценки циклической усталости никель-титановых инструментов является маленький угол изгиба файла

28°, жесткая фиксация, невозможность сохранения траектории вращения инструмента, не дифференцированный подход к кривизне канала, непрерывное вращение до момента отлома. Следующая технология оценки циклической усталости заключалась в использовании трех гладких цилиндрических штифтов диаметром 2 мм из нержавеющей стали, причем самый нижний цилиндр имел V-образную канавку, которую можно было регулировать по горизонтали и удерживать кончик инструмента при вращении [254]. Недостатком данной технологии оценки циклической усталости никель-титановых инструментов является недифференцированный подход к кривизне корневого канала. Еще одним техническим решением по определению циклической усталости на нагрузке является способ определения циклической усталости никель-титановых инструментов (см. патент RU 169763, 31.03.2017). При данной технологии используется металлическая пластина из нержавеющей стали, имеющая 3 канавки с углом изгиба 30°, 45°, 90°. Никель-титановый инструмент фиксировался на эндомотор, который, в свою очередь, был неподвижно закреплен в деревянное полотно. Никель-титановый инструмент вращался в канавке металлической пластины непрерывно, до момента отлома. Недостатком данной технологии является недифференцированный подход к кривизне каналов, отсутствие свободного вертикально-поступательного введения в канавки.

К существенным недостаткам всех вышеперечисленных технологий оценки циклической усталости никель-титановых инструментов является то, что исследовалась лишь непрерывная механическая нагрузка, что не соответствует нагрузке на никель-титановые инструменты при клиническом приеме врача стоматолога.

Необходимость в объективном методе оценки циклической усталости никель-титановых инструментов привела к моделированию нами симуляционного эндодонтического блока, который покрыт оргстеклом и состоит из 5 каналов (90°, 30°, 45°). Он имеет S-образный изгиб 45°, тройной изгиб 45°.

Процесс определения циклической усталости никель-титановых инструментов оценивает механическую (нагрузку-вращение инструмента в каждом канале

по 40 сек пассивным вертикально-поступательным движением,) химическую (погружение никель-титановых инструментов после механической нагрузки в раствор гипохлорита натрия 3,25% на 2 часа, затем в 5% раствор аламинола на 45 мин) и термическую нагрузку (проводилось термоциклированием при 134 °С, 1,2 атм, 45 минут). Весь процесс механической, химической и термической нагрузок фиксировался на фото- и видеоноситель. Подсчет и оценка устойчивости к циклической нагрузке фиксировалась при помощи видео от момента её начала до момента отлома файла. После отлома файла производилась аналитическая обработка данных полученного видеоматериала. Результаты анализа определяют предел циклической усталости никель-титанового файла. В качестве модели для определения циклической усталости использовались никель-титановые инструменты аустенитной и мартенситной фазы Mtwo (VDW), Protaper next (Densplay), Protaper gold (Densplay), Soho SC Pro (SOCO), S-flexi (GEOSOFT). Использование таких моделей ранее не применялось в выше перечисленных исследованиях определения циклической усталости никель-титановых инструментов.

Полученные результаты объективного метода определения циклической усталости никель-титановых инструментов отличались от данных, предоставляемых заводом изготовителем.

Статистически значимую высокую устойчивость продемонстрировали инструменты S-flexi, в частности: S-flexi 04/25, S-flexi 04/30, S-flexi 04/35 и S-flexi 06/25. Интересно, что S-flexi 04/20 выпадает из этого ряда. Кроме того, на фоне остальных инструментов положительно – хотя и в гораздо меньшей степени – выделяется Protaper Gold S1. Soho SC Pro имеет самую низкую степень устойчивости к циклической нагрузке, при этом Soho SC Pro является инструментом с мартенситной фазой, что должно было показать высокую устойчивость к циклической нагрузке.

При проведении рентгеноспектрального анализа никель-титановых инструментов изучали изменения в элементном составе до и после нагрузок.

Наличие кислорода отмечено не во всех никель-титановых инструментах. Если в SOCO SC Pro 04/30, Protaper Gold S1 и S-flexi 04/30 образцах среднее ко-

личество кислорода было порядка  $\approx 37\%$ , то у производителей медицинского инструмента Mtwo 10/04 и Protaper Next X1 кислород регистрировался на уровне чувствительности нергодисперсионного детектора. Из сравнения результатов количественного анализа для образцов 5 производителей между собой, а также до (а) и после (б) того, как инструмент подвергся циклической нагрузке можно сделать следующие выводы:

1. В образцах SOCO SC Pro 04/30 и S-flexi 04/30 после циклической нагрузки, содержание алюминия в приповерхностном слое падает. В образце Protaper Gold S1 практически не меняется, а в образцах Mtwo 10/04 и Protaper Next X1 количество алюминия в приповерхностном слое возрастает.

2. Соотношение титана к никелю больше различается в образцах SOCO SC Pro 04/30 и S-flexi 04/30 производителя, а в образцах Protaper Gold, Mtwo 10/04 – Protaper Next X1 соотношение составляет практически 1 : 1.

3. S-flexi 04/30 – содержание AL и O снижается, но увеличивается содержание Ti и Ni. SOCO SC Pro 04/30 – содержание O сильно повышается.

Высокое содержание O на поверхности слоя и повышение содержания кислорода говорит о низком металлургическом качестве и технологии обработки по стандартам никель-титановых инструментов мартенситной фазы.

Оценивая результаты электронной сканирующей микроскопии инструментов различных систем, можно сделать вывод, что все инструменты значительно отличаются друг от друга по типу отлома. На инструментах с мартенситной фазой, которые имеют напыление в виде нитрита титана, после нагрузки отмечается наиболее крупные кратерообразные дефекты в области предполагаемого отлома. По результатам сканирующей электронной микроскопии на всех исследуемых инструментах после нагрузок отмечаются поры и кратерообразные дефекты, что не наблюдается на инструментах без нагрузки. В виду особенностей металлургии никель-титановых инструментов аустенитной фазы и мартенситной фазы характер отлома отличается. Никель-титановые инструменты аустенитной фазы (Protaper Next X1, Mtwo 10/04) имеют отлом после нагрузки в виде пор, равномерно распределённых по поверхности скола. Никель-титановые инструменты с

мартенситной фазой (S-flexi, Protaper Gold и Soco SC PRO) после нагрузки имеют отлом с рваным рисунком. Инструменты Protaper Gold и Soco SC PRO отмечаются тем, что имеют кратерообразные дефекты и большие поры хаотичного расположения, а также линии излома разорванного типа, что не характерно для никель-титанового инструмента с мартенситной фазой S-flexi после нагрузки. Поры в умеренном количестве, равномерно распределены по поверхности скола и, в основном, сконцентрированы в центральных зонах. Кратерообразные дефекты и разорванные края отмечаются только на инструменте S-flexi 04/20.

Следует отметить, что столь обширное комплексное исследование конструктивных параметров никель-титановых инструментов проведено впервые. Инструменты S-flexi (GEOSOFT РОССИЯ) показали высокую стабильность в элементном составе, гомогенную структуру с минимальным количеством пор по результатам сканирующей электронной микроскопии и высочайшую устойчивость к циклической нагрузке.

При проведении капиллярной дефектоскопии 10 никель-титановых инструментов различных производителей, подвергшихся 70–80% циклической нагрузке, наблюдалось прокрашивание участков, возникающего отлома инструмента. Результаты исследования свидетельствуют о том, что капиллярная дефектоскопия позволяет оптимизировать выбор никель-титанового инструмента, так как дает возможность судить о пригодности инструмента для его использования до введения инструмента в корневой канал.

Сложность анатомии корневых каналов и живучесть микробных биопленок говорит о том, что простой доставки противомикробных средств может быть недостаточно для дезинфекции систем корневых каналов. Для решения данной проблемы разрабатываются различные системы подачи и перемешивания ирригантов для ирригации корневых каналов. Эти системы можно разделить на две большие категории: с использованием ручных методов перемешивания и машинных устройств, для подачи и/или перемешивания. Ручной метод перемешивания, ввиду слабой активации растворов при наличии выступов, нависающих краев и т.д., менее эффективен [176].

Машинные устройства подачи ирригационных систем типа Quantec-E, EndoVac и RinsEndo, в виду их труднодоступности, широко не применяются [207].

При этом, для реализации большинства из перечисленных методов необходимо специальное оборудование, которое в некоторых случаях имеет сложное конструктивное выполнение, является дорогостоящим и труднодоступным, а также не имеет технических средств, обеспечивающих возможность синхронного и/или поочерёдного применения нескольких видов ирригационных растворов при использовании одного инструмента. В качестве доступного и простого в использовании принято считать ультразвуковую активацию. Ультразвуковая активация возможна при использовании металлической насадки. Прикосновение насадки к стенке канала снижает кавитационный эффект ультразвука [191].

Учитывая, что в большинстве случаев многокорневые зубы имеют изгибы корневых каналов, эффективность использования ультразвука снижается. Также необходимо после каждой активации менять раствор гипохлорита натрия.

Для оптимизации ирригации корневых каналов зубов, нами разработана автономная система подачи ирригационной жидкости в корневые каналы. Автономная система подачи ирригационной жидкости обеспечивает непрерывный поток 23 мл/мин ирригационных растворов. Полностью исключается использование эндодонтических шприцов. Через систему ирригационных трубочек и универсального крепления для головок эндомотора обеспечивается ирригация и одновременная механическая обработка всех машинных никель-титановых инструментов. Это снижает образование смазанного слоя, эффекта заклинивания за счет постоянного вымывания опилок, сокращает процедуру эндодонтического лечения. Также обеспечивается подача гипохлорита натрия 1%, нагретого до 45 °С, что снижает токсичность NaOCl и повышает его эффективность. В качестве финишной ирригации используется звуковой активатор, с подключенной к нему системой подачи ирригационной жидкости. Эта жидкость обеспечивает качественную ирригацию с активацией в труднодоступных участках.

Основной принцип obturации корневых каналов зубов заключается в использовании концепции трехмерной obturации, с применением первичнотвердых материалов в качестве филлеров. Постоянная obturация корневых каналов одними лишь пастами считается, на сегодняшний день, неэффективным методом [25]. При этом наиболее эффективными методами obturации в современной эндодонтии являются различные подходы, в которых применяются филлеры и силеры в качестве obturационного материала. Качественная obturация должна обеспечивать абсолютный апикальный герметизм. Существует две глобальные школы, которые по-разному рассматривают границы апикального препарирования. Американская школа предпочитает конусное препарирование без апикального упора. Этот подход оптимизирован под obturацию термопластифицированной гуттаперчей. При этом, выход силера за апекс обязателен и называется пафф (плевок). Для этого должна быть обеспечена полная проходимость корневого канала до периодонта. Скандинавская школа предпочитает сохранение апикальной констрикции, а то и продвижение на 1–2 мм меньше рабочей длины, с формированием апикального бокса до больших размеров 35–80. Наличии пафф при данной методике считается критерием плохой obturации. Некоторые авторы рекомендуют obturировать апекс стерильными дентинными опилками. Микробиологические исследования показали, что большие размеры апикального препарирования уменьшают бактериальную обсемененность [97, 109].

Увеличение размера апикального препарирования повышает вероятность удаления инфицированного дентина в апикальной области и облегчает доступ ирригационным растворам [218].

Гистологические исследования указывают на то, что, увеличивая размер апикального препарирования, можно добиваться стерильной дентинной стружки в апикальной области [234, 245]

Нами было проведено лабораторное исследование по изучению эффективности апикального герметизма при использовании трех методов obturации корневых каналов: латеральная компакция, вертикальная компакция и гибридная техника obturации. В лабораторном исследовании использовались удаленные од-



нокорневые центральные резцы. Расширение, формирование и подготовку к obturации каналов проводили во всех случаях одинаково, с использованием, разработанной нами, автономной ирригационной системы. Через 48 часов после obturации проводили распил в апикальной части корня зуба. Подготовленные образцы для оценки качества апикального герметизма были направлены на сканирующую электронную микроскопию. Полученные изображения дали возможность измерить щели между obturационным материалом и стенкой корневого канала во всех образцах. Затем проводили аналитический и статистический анализы. По данным сканирующей электронной микроскопии, апикальный герметизм между вертикальным и гибридным способами пломбирования наблюдался со статистически значимой разницей в ширине трещины между материалом и дентином ( $p < 0,001$ ; псевдомедиана разницы 14,289 мкм с 95%-м ДИ 11,372–9,715) мкм). Между вертикальным и латеральным способами не наблюдалось статистически значимой разницы в ширине трещины между материалом и дентином ( $p = 0,450$ ; псевдомедиана разницы 1,692 мкм с 95%-м ДИ [-3,094; 5,728] мкм). Между гибридным и латеральным способами была установлена статистически значимая разница в ширине трещины между материалом и дентином ( $p < 0,001$ ; псевдомедиана разницы 15,034 мкм с 95%-м ДИ [-20,151; -10,362] мкм). Гибридный способ пломбирования обеспечивает оптимальную obturацию корневого канала.

Клиническая эффективность применения гибридного способа пломбирования корневых каналов зубов была изучена при лечении необратимых форм пульпита у 162 пациентов, в возрасте от 18 до 65 лет. В зависимости от используемого способа пломбирования корневых каналов, больные были разделены на 3 группы, по 54 человека в каждой. В первой группе корневые каналы obturировали латеральным способом, во второй – вертикальным, в третьей гибридным способом.

Для оптимизации обработки корневых каналов зубов при их механической и медикаментозной обработке, во всех исследуемых группах использовали, разработанную нами, автономную систему подачи ирригационных растворов. При проведении механической обработки корневых каналов, в качестве ирриганта использовали 1 % раствор гипохлорита натрия, подогретый до 45<sup>0</sup> С. По окончании

механической обработки корневых каналов, корневые каналы промывали дистиллированной водой, затем использовали 17% ЭДТА с экспозицией на 1 минуту. После этого корневые каналы промывали 1 % раствором гипохлорита натрия, подогретым до 45<sup>0</sup> С. При проведении ирригации корневых каналов после механической обработки, использовали звуковую активацию ирригационных растворов с помощью пластиковой эндодотической иглы.

Данные, полученные в ближайшие сроки после пломбирования корневых каналов зубов, свидетельствовали о том, что применение гибридного способа конденсации не приводит к увеличению количества пациентов, предъявляющих жалобы на постпломбировочные боли и не удлиняет сроки адаптации тканей периодонта после пломбирования корневых каналов зубов.

Анализ отдаленных результатов лечения через год после пломбирования корневых каналов зубов свидетельствовал о том, что лучшие результаты лечения были получены в группе, где применялся способ гибридной конденсации. Лечение было успешным у 98,1%. В других группах этот показатель был хуже. При использовании способа латеральной конденсации он составил 94,4%, а при использовании способа вертикальной конденсации – 92,6%.

Резюмируя результаты проведенных исследований, нужно отметить, что внедрение в клиническую практику результатов экспериментальных исследований изучения растворяющей способности грейпфрутового эфирного масла, в качестве сольвента, и моющей активности мицеллярной воды в отношении масляной пленки, создаваемой грейпфрутовым маслом, позволит повысить качество лечебных мероприятий при распломбировке корневых каналов зубов, раннее запломбированных с использованием гуттаперчи. Результаты изучения износостойкости различных никель-титановых эндодонтических инструментов дают возможность оптимизировать выбор того или иного инструмента для проведения лечения, а также позволяют определить, с помощью капиллярной дефектоскопии, вероятность отлома эндодонтического инструмента до его введения в корневой канал. Результаты клинических наблюдений показывают высокую эффективность применения гибридного способа конденсации гуттаперчи при пломбировании

корневых каналов зубов. Его использование позволяет оптимизировать лечение необратимых форм пульпита, за счет уменьшения количества осложнений, и, препятствуя развитию периодонтита, способствует снижению потребности в повторном эндодонтическом лечении.

## ВЫВОДЫ

1. Экспериментальное исследование показало, что в отношении силера на основе эпоксидной смолы, все эфирные масла обладают одинаково высокой растворяющей способностью. Грейпфрутовое эфирное масло, имея более низкий коэффициент поверхностного натяжения по сравнению с другими исследуемыми эфирными маслами ( $p < 0,05$ ), обладает более выраженным растворяющим действием в отношении гуттаперчевого филлера. Время начала растворения филлера под действием грейпфрутового масла статистически значимо отличалось от гвоздичного ( $p = 0,002$ ), эвкалиптового ( $p = 0,004$ ), мятного ( $p = 0,001$ ) и апельсинового ( $p = 0,008$ ). По времени завершения растворения грейпфрутовое масло статистически значимо отличалось от гвоздичного ( $p = 0,002$ ), эвкалиптового ( $p = 0,004$ ), мятного ( $p = 0,001$ ) и апельсинового ( $p = 0,004$ ).
2. Моющая активность ирригационных растворов зависит от коэффициента поверхностного натяжения этих растворов – чем ниже коэффициент поверхностного натяжения, тем большей моющей способностью обладает ирригационный раствор. Экспериментальное исследование показало, что в отношении масляного раствора наибольшей моющей активностью обладает мицеллярная вода и 1% раствор гипохлорита натрия, нагретый до  $45^{\circ}\text{C}$ , по сравнению с не нагретыми 3.25% и 5% растворов гипохлорита натрия.
3. Наибольшей износостойкостью к циклическим нагрузкам обладают инструменты мартенситной фазы, в большей степени S-flexi, за исключением S-flexi 04/20, чуть в меньшей степени Protaper Gold S1, несмотря на то, что, по данным рентгеноспектрального анализа, эти инструменты менее устойчивы к химическим нагрузкам по сравнению с инструментами аустенитной фазы. При 70-80% износе никель-титанового инструмента, капиллярная дефектоскопия позволяет определить ранние признаки возникающего отлома инструмента.

4. Результаты сканирующей электронной микроскопии показали, что при obturации корневых каналов зубов гибридным способом наблюдается минимальная ширина трещины между obturационным материалом и дентином по сравнению со способами вертикальной и латеральной конденсации. Применение гибридного способа пломбирования корневых каналов зубов позволяет повысить эффективность лечения необратимых форм пульпита до 98.1%, в то время как при использовании латерального способа конденсации она составляет 94.4%, при вертикальном – 92.6%.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для выявления ранних признаков, возникновения отлома никель-титановых эндодонтических инструментов необходимо проводить капиллярную дефектоскопию.
2. Для проведения капиллярной дефектоскопии на поверхность инструмента необходимо нанести очиститель SKC-S Cleaner/remover на 20 мин. Остатки очистителя нужно удалить струей воздуха из пюстера. Затем нанести пенетрант SKL-SP2 Red Penetrant, который нужно выдерживать на поверхности инструмента до 10 минут. При этом нельзя допускать высыхания пенетранта. Затем с помощью баллончика-спрея необходимо нанести проявитель SKD-S2 Spotcheck на поверхность инструмента на 15–20 минут. В результате химической реакции проявителя с пенетрантом дефект окрасится, что визуально позволит определить признаки начинающегося отлома.
3. При лечении необратимых форм пульпита корневые каналы необходимо пломбировать с использованием гибридного способа obturation корневых каналов.
4. При подготовке к гибридному способу obturation корневого канала, механическая обработка корневого канала должна начинаться с создания ковровой дорожки до K-файла 15/02. Файл Mtwo 10/04 рекомендуется использовать при скорости 300–450 об/мин торк 1.0. Его следует использовать на всю длину корневого канала. Файл Protarep X1 рекомендуется использовать при 350–450 об/мин торк 1.0. Его следует использовать в устьевой и средней части канала. Файл S-flexi 25/06, 30/04, 35/04 рекомендуется использовать при 350–450 об/мин 1.0. Его следует использовать в апикальной области.
5. Ручным K-файлом 35 по ISO нужно проводить калибровку и расширение апикальной области с целью создание упора.

6. Медикаментозная обработка должна проводиться постоянно с помощью автономной системы подачи ирригационной жидкости с скоростью потока от 12 мл/мин до 23 мл/мин во время механической обработки. При этом должна быть проведена качественная изоляция с использованием платка коффердама и постоянно осуществляться эвакуация ирригационного раствора.
7. При проведении механической обработки корневых каналов, в качестве ирриганта нужно использовать 1 % раствор гипохлорита натрия, подогретый до 45<sup>0</sup> С. По окончании механической обработки корневых каналов, корневые каналы нужно промыть дистиллированной водой, затем использовать 17% ЭДТА с экспозицией на 1 минуту. После этого корневые каналы нужно промыть 1% раствором гипохлорита натрия, подогретым до 45<sup>0</sup> С.
8. При проведении ирригации корневых каналов после механической обработки нужно использовать звуковую активацию ирригационных растворов с помощью пластиковой эндодонтической иглы.
9. Корневые каналы нужно высушивать бумажными абсорберами.
10. Обтурация корневого канала с использованием гибридного способа должна проводиться при получении хорошего апикального упора, откалиброванного уступа в области апикальной констрикции и мастера гуттаперчевого штифта.
11. При гибридном способе пломбирования корневого канала в качестве филлера нужно использовать гуттаперчевые штифты в сочетании с силером на основе эпоксидной смолы.
12. Корневой канал нужно обтурировать до середины длины корневого канала способом латериальной конденсации гуттаперчи, затем с помощью горячего плагера GuttaEst проводить вертикальную конденсацию, не доводя плагер на расстояние 5 мм до апикальной констрикции. После этого нужно проводить вертикальную конденсацию гуттаперчи холодными плагерами SSG Plugegr № 1, 2, 3.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Абеди Х., Шахриари С., Джалалзаде С. М., Морадханы Р. Сравнительное исследование плотности obturированных корневых каналов обычными и механическими методами латеральной конденсации // Дент Риз Дж (Исфахан). – 2009. – Т. 6. – С. 55-58.
2. Алапати С. Б., Брэнтли В. А., Иидзима М., и др. Металлургическая характеристика новой никель-титановой проволоки для вращающихся эндодонтических приборов // Журнал эндодонтии. – 2009. – Т. 35. – С. 1589-1593.
3. Аржанцев А. П., Винниченко Ю. А., Перфильев С. А., и соавт. Анализ качества эндодонтического лечения по данным компьютерной томографии // Стоматология. – 2010. – Т. 6. – С. 31-33.
4. Ари Х., Эрдемир А. Влияние эндодонтических ирригационных растворов на минеральное содержание дентина корневых каналов с использованием методики ICP-AES // Д. Эндод. . – 2005. – Т. 31. – С. 187-189.
5. Эндодонтология. / Бердженхолц Г. – Москва: Таркомм, 2013. – 408 с.
6. Боровский Е. В. Ошибки эндодонтического лечения зубов // Клиническая эндодонтия. – 2003. – С. 32-35.
7. Эндодонтическое лечение. / Боровский Е. В., Жохова Н. С. – Москва: АО «Стоматология», 1997. – 63 с.
8. Боровский Е. В., Протасов М. Ю. Распространенность осложнений кариеса и эффективность эндодонтического лечения // Клиническая стоматология. – 1998. – Т. 3. – С. 3.
9. Бьюкенен Л. С. Непрерывная волна техники obturации: «центрированная» конденсация теплой гуттаперчи за 12 секунд // Дент сегодня. – 1996. – Т. 15. – С. 60-87.
10. Бьюкэнэн С. Стратегии лечения при различных особенностях анатомии // Новости Densply. – 2003. – Т. 8, № 42-51.
11. Влияние тепловых факторов на ткани зуба при эндодонтическом лечении. / Велитченко И. А. – Москва, 2011. – 140 с.



12. Глинкин В. В., Исмаилов Ф. Р., Бакаев Ю. А., Бадалов Ф. В., Демурова Э. Т., Горбатенко И. А., Литвиненко А. А. Лечение деструктивного периодонтита с сочетанной резорбцией корня. Клинический случай // Эндодонтия Today. – 2022. – Т. 20, № 2. – С. 230-231.
13. Гунд Т. Г., Рим Р. Ж., Маккави Х. А., Одгаард Е. К. Описание альтернативного способа латеральной конденсации и сравнение способности obturации каналов с использованием механической или традиционной боковой конденсации // Д. Эндод. – 200. – Т. 26. – С. 156-159.
14. Джонсон В. Б. Новая техника гуттаперча // Джей Эндод. – 1978. – Т. 4. – С. 184-188.
15. Джонсон У., Кулильд Д. Obturация очищенной и сформированной системы корневых каналов // Пути целлюлозы Коэна / Кеннет М., Харгривз С. – Сент-Луис: Миссури: Мосби, 2011. – С. 349-388.
16. Дмитриева Л. А., Бутенко И. В., Клещенко А. В., Зюзина Т. В. Повторное эндодонтическое лечение в случаях использования паст в качестве корневых пломб // Вестник Российского университета дружбы народов. – 2009. – Т. 4. – С. 375-377.
17. Зорян А., Овсепян А., Чиликин В. Методики obturации корневого канала // Cathedra. – 2005. – Т. 14, № 16. – С. 15-20.
18. Зорян А. А., Овсепян А. М., Чиликин В. Н. Методики obturации корневого канала // Dental Market. – 2006. – Т. 9. – С. 16-21.
19. Исмаилов Ф. Р., Хабадзе З. С. Парестезия нижнего альвеолярного нерва, вызванная периапикальной патологией: клинический случай // Эндодонтия Today. – 2022. – Т. 20, № 3. – С. 247-250.
20. Исмаилов Ф. Р., Хабадзе З. С., Генералова Ю. А., Бакаев Ю. А., Литвиненко А. А. Оптимизация obturации корневых каналов // Эндодонтия Today. – 2022. – Т. 20, № 2. – С. 230-231.
21. Клещенко А. В., Зюзина Т. В., Бутенко И. В. Морфологические изменения в пародонте под действием сольвентов при повторном эндодонтическом лечении // Эндодонтия Today. – 2011. – Т. 2. – С. 27-29.

22. Ледюк Ж., Фишельберг Г. Эндодонтическая obturation: Обзор // Генерал Дент. – 2003. – Т. 51. – С. 232-233.
23. РЕАКЦИЯ ТКАНЕЙ ВЕРХУШЕЧНОГО ПЕРИОДОНТА НА ЗААПИКАЛЬНОЕ ВЫВЕДЕНИЕ ГУТТАПЕРЧИ. / Морозов О. Ю., 2004. – 122 с.
24. Нг Ю. Л., Манн В., Рахбаран С., Льюси Д., Гулабивала К. Результаты лечения первичных корневых каналов: систематический обзор литературы - Часть 2. Влияние клинических факторов // Int Endod J –2007. – Т. 41. – С. 6-31.
25. Практическая терапевтическая стоматология: учебное пособие. / Николаев А. И., Цепов Л. М. – 9 изд. – Москва: МЕДпресс-информ, 2013. – 928 с.
26. Парашос П., Гордон И., Мессер Г. Факторы, влияющие на дефекты роторных никель-титановых эндодонтических инструментов после клинического применения // Д. Эндод. – 2004. – Т. 30. – С. 722-725.
27. Парашос П., Мессер Г. Перелом поворотного прибора NiTi и его последствия // Journal Endodontics. – 2006. – Т. 32, № 11. – С. 1031-1043.
28. Петерс О. А. Современные проблемы и концепции в подготовке систем корневых каналов: обзор // Д. Эндод. – 2004. – Т. 30. – С. 559-565.
29. Трихлорметан (Хлороформ): Санитарные правила. – Москва: Роспотребнадзор, 2018. – 143-170 p. – Report Number.
30. Симон Л., Махту П., Томсон Ф., Адамс Н., Ламли Ф. Влияние сломанных инструментов на успешность эндодонтического лечения // DENTAL UPDATE. – 2008. – Т. 35, № 3.
31. Сондерс В., Сондерс Э. М. Оценка утечки в восстановленной пульпальной камере эндодонтически обработанных многокорневых зубов // Int Endod J –1990. – Т. 23. – С. 28-33.
32. Основная эндодонтология. Профилактика и лечение апикального пародонтита. / Сундквист Г., Фигдор Д. – Оксфорд: Блэквелл, 1998.
33. Томсон Л., Гровер Л. М., Ламли П. Д. Растворение биоактивных компонентов дентинового матрикса минеральным триоксидным агрегатом // Дент. – 2007. – Т. 35. – С. 636-642.

34. Томсон Л., Ламли Д., Александр М. Ю., Смит А. Д., Купер Р. Фактор роста гепатоцитов секвестрируется в дентиновом матриксе и способствует регенерации, связанным с событиями в клетках пульпы зубов // Цитокин. – 2013. – Т. 61. – С. 622-629.
35. Торабинежад М., Унг Б., Кеттеринг Д. Д. In vitro бактериальное проникновение коронально незасекенных эндодонтически обработанных зубов // Д. Эндод. – 1990. – Т. 16. – С. 566-569.
36. Уитворт Д. Методы пломбирования корневых каналов: принципы и практики // Эндодонтические темы. – 2005. – Т. 12, № 1. – С. 2-24.
37. Улусой Ö. I., Палтун Y. N., Гювен Н., Челик Б. стойчивость к смещению материалов на основе силиката кальция из корневых каналов с различной толщиной дентина // Int Endod J. – 2016. – Т. 49. – С. 1188-1193.
38. Фирсова И. В., Македонова Ю. А. Доказательный подход в дифференциации выбора пломбировочного материала при obturации системы корневых каналов // Эндодонтия today. – 2014. – Т. 1. – С. 67-70.
39. Фридман С. Е., Сандрик J. L., Neuer M. A., Rapp G. W. Состав и физические свойства гуттаперховых эндодонтических пломбировочных материалов // Д. Эндод. – 1977. – Т. 8. – С. 304-308.
40. Хабадзе З. С., Генералова Ю. А., Негорелова Я. А., Исмаилов Ф. Р. Анализ физико-химической эффективности применения биокерамических силеров в эндодонтической практике // Медицинский алфавит. – 2021. № 12.
41. Хабадзе З. С., Генералова Ю. А., Шубаева В. С., Исмаилов В. С. Анализ бактерицидного действия гипохлорита натрия и хлоргексидина на резистентные микроорганизмы биопленки (*E. Faecalis*, *S. Albicans*) // Эндодонтия Today. – 2020. – Т. 18, № 4. – С. 36-43.
42. Хабадзе З. С., Генералова Ю. А., Шубаева В. С., Исмаилов Ф. Р., Недашковский А. А., Шерозия М. Г., Хумгаева Х. Р. Анализ влияния гипохлорита натрия на структурные компоненты дентина // Эндодонтия Today. – 2020. – Т. 18, № 3. – С. 61-66.

43. Способ повторного эндодонтического лечения / Хабадзе З. С., Даурова Ф. Ю., Исмаилов Ф. Р.: 08.02.2017
44. Хабадзе З. С., Исмаилов Ф. Р. Оптимизация повторного эндодонтического лечения // Эндодонтия Today. – 2020. – Т. 18, № 1. – С. 31-36.
45. Хабадзе З. С., Исмаилов Ф. Р. Оценка циклической нагрузки и режущей способности никель-титановых эндодонтических инструментов с использованием симуляционных блоков для имитации корневых каналов // Стоматология – наука и практика, перспективы развития: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора Е. А. Магида. – Волгоград, 2021. – С. 230-231.
46. Съёмная насадка для медикаментозной обработки корневого канала / Хабадзе З. С., Исмаилов Ф. Р., Карнаева А. С., Бакаев Ю. А., Омарова Х. О.: 26.04.2022
47. Устройство для ирригации корневых каналов / Хабадзе З. С., Исмаилов Ф. Р., Карнаева А. С., Бакаев Ю. А., Омарова Х. О.: 27.04.2022
48. Хаммад М., Куолтроу А., Силикас Н. Влияние новых obturating материалов на устойчивость к переломам вертикальных корней эндодонтически обработанных зубов // Д. Эндод. – 2007. – Т. 33. – С. 732-736.
49. Ханави Т., Хиромото С., Асами К., Окуно О., Асаока К. Поверхностные оксидные пленки на титановых сплавах, регенерированных в растворе Хэнкса // Транзакции с материалами. – 2002. – Т. 43, № 12. – С. 3000-3004.
50. Шабаловская С. А. О природе биосовместимости и о медицинских применениях NiTi с памятью формы и сверхупругими сплавами // Биомед Матер Энг. – 1996. – Т. 6, № 4. – С. 267-289.
51. Шахи С., Занд В., Оскоээ С. С., Абдолрахими М., Рахнема. Исследование in vitro влияния глубины проникновения разбрасывателя на апикальный микроразрыв // Оральная наука. – 2007. – Т. 49. – С. 283-286.
52. Шильдер Х. Пломбирование корневых каналов в трех измерениях // Дент Клини Норт Ам. – 1967. – Т. 11. – С. 723-744.

53. Эландер А. Электрохимическое исследование твердых кадмий-золотых сплавов // Журнал Американского химического общества. – 1932. – Т. 54, № 10. – С. 3819-3833.
54. Ahmad M., Pitt Ford T. R., Crum L. A. Ultrasonic debridement of root canals: an insight into the mechanisms involved // J Endod. – 1987. – Т. 13, № 3. – С. 93-101.
55. Al-Hadlaq S. M., Al-Turaiki S. A., Al-Sulami U., Saad A. Y. Efficacy of a new brush-covered irrigation needle in removing root canal debris: a scanning electron microscopic study // J Endod. – 2006. – Т. 32, № 12. – С. 1181-4.
56. AlShwaimi E. Cyclic fatigue resistance of a novel rotary file manufactured using controlled memory Ni-Ti technology compared to a file made from M-wire file // Int Endod J. – 2018. – Т. 51, № 1. – С. 112-117.
57. Alves F. R., Almeida B. M., Neves M. A., Moreno J. O., Rocas I. N., Siqueira J. F., Jr. Disinfecting oval-shaped root canals: effectiveness of different supplementary approaches // J Endod. – 2011. – Т. 37, № 4. – С. 496-501.
58. Alves F. R., Andrade-Junior C. V., Marceliano-Alves M. F., Perez A. R., Rocas I. N., Versiani M. A., Sousa-Neto M. D., Provenzano J. C., Siqueira J. F., Jr. Adjunctive Steps for Disinfection of the Mandibular Molar Root Canal System: A Correlative Bacteriologic, Micro-Computed Tomography, and Cryopulverization Approach // J Endod. – 2016. – Т. 42, № 11. – С. 1667-1672.
59. Aminsobhani M., Meraji N., Sadri E. Comparison of Cyclic Fatigue Resistance of Five Nickel Titanium Rotary File Systems with Different Manufacturing Techniques // J Dent (Tehran). – 2015. – Т. 12, № 9. – С. 636-46.
60. Anderson A. C., Hellwig E., Vespermann R., Wittmer A., Schmid M., Karygianni L., Al-Ahmad A. Comprehensive analysis of secondary dental root canal infections: a combination of culture and culture-independent approaches reveals new insights // PLoS One. – 2012. – Т. 7, № 11. – С. e49576.
61. Anderson M. E., Price J. W., Parashos P. Fracture resistance of electropolished rotary nickel-titanium endodontic instruments // J Endod. – 2007. – Т. 33, № 10. – С. 1212-6.

62. Antunes H. S., Rocas I. N., Alves F. R., Siqueira J. F., Jr. Total and Specific Bacterial Levels in the Apical Root Canal System of Teeth with Post-treatment Apical Periodontitis // *J Endod.* – 2015. – T. 41, № 7. – C. 1037-42.
63. Araki K., Suda H., Spangberg L. S. Indirect longitudinal cytotoxicity of root canal sealers on L929 cells and human periodontal ligament fibroblasts // *J Endod.* – 1994. – T. 20, № 2. – C. 67-70.
64. Ari H., Belli S., Gunes B. Sealing ability of Hybrid Root SEAL (MetaSEAL) in conjunction with different obturation techniques // *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* – 2010. – T. 109, № 6. – C. e113-6.
65. Arias-Moliz M. T., Ferrer-Luque C. M., Gonzalez-Rodriguez M. P., Valderrama M. J., Baca P. Eradication of *Enterococcus faecalis* biofilms by cetrimide and chlorhexidine // *J Endod.* – 2010. – T. 36, № 1. – C. 87-90.
66. Arora V., Nikhil V., Sharma N., Arora P. Bioactive dentin replacement // *J Dent Med Sci.* – 2013. – T. 12. – C. 51-57.
67. Asgary S., Akbari Kamrani F., Taheri S. Evaluation of antimicrobial effect of MTA, calcium hydroxide, and CEM cement // *Iran Endod J.* – 2007. – T. 2, № 3. – C. 105-9.
68. Asgary S., Parirokh M., Eghbal M. J., Ghoddusi J. SEM evaluation of pulp reaction to different pulp capping materials in dog's teeth // *Iran Endod J.* – 2006. – T. 1, № 4. – C. 117-23.
69. Asgary S., Shahabi S., Jafarzadeh T., Amini S., Kheirieh S. The properties of a new endodontic material // *J Endod.* – 2008. – T. 34, № 8. – C. 990-3.
70. Ayatollahi F., Tabrizizadeh M., Zare Bidoki F., Ayatollahi R., Hazeri Baqdad Abad M. Comparison of Marginal Adaptation of MTA and CEM Cement Apical Plugs in Three Different Media // *Iran Endod J.* – 2016. – T. 11, № 4. – C. 332-335.
71. Baca P., Mendoza-Llamas M. L., Arias-Moliz M. T., Gonzalez-Rodriguez M. P., Ferrer-Luque C. M. Residual effectiveness of final irrigation regimens on *Enterococcus faecalis*-infected root canals // *J Endod.* – 2011. – T. 37, № 8. – C. 1121-3.
72. Bailey G. C., Ng Y. L., Cunnington S. A., Barber P., Gulabivala K., Setchell D. J. Root canal obturation by ultrasonic condensation of gutta-percha. Part II: an in vitro

- investigation of the quality of obturation // *Int Endod J.* – 2004. – Т. 37, № 10. – С. 694-8.
73. Barbakow F. The LightSpeed system // *Dent Clin North Am.* – 2004. – Т. 48, № 1. – С. 113-35.
74. Bartha T., Kalwitzki M., Lost C., Weiger R. Extended apical enlargement with hand files versus rotary NiTi files. Part II // *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* – 2006. – Т. 102, № 5. – С. 692-7.
75. Verendt C. Способ приготовления нитинола для использования в производстве приборов с улучшенной усталостной стойкостью // *Book Способ приготовления нитинола для использования в производстве приборов с улучшенной усталостной стойкостью* / Editor, 2007.
76. Berg J. H., Croll T. P. Glass ionomer restorative cement systems: an update // *Pediatr Dent.* – 2015. – Т. 37, № 2. – С. 116-24.
77. Berutti E., Castellucci A. Cleaning and shaping the root canal system // *Endodontics* / Castellucci A. – Firenze: IlTridente, 2005. – С. 429-457.
78. Bonaccorso A., Tripi T. R., Rondelli G., Condorelli G. G., Cantatore G., Schafer E. Pitting corrosion resistance of nickel-titanium rotary instruments with different surface treatments in seventeen percent ethylenediaminetetraacetic Acid and sodium chloride solutions // *J Endod.* – 2008. – Т. 34, № 2. – С. 208-11.
79. Bouska J., Justman B., Williamson A., DeLong C., Qian F. Resistance to cyclic fatigue failure of a new endodontic rotary file // *J Endod.* – 2012. – Т. 38, № 5. – С. 667-9.
80. Braga L. C., Faria Silva A. C., Buono V. T., de Azevedo Bahia M. G. Impact of heat treatments on the fatigue resistance of different rotary nickel-titanium instruments // *J Endod.* – 2014. – Т. 40, № 9. – С. 1494-7.
81. Brantley W. A., Svec T. A., Iijima M., Powers J. M., Grentzer T. H. Differential scanning calorimetric studies of nickel titanium rotary endodontic instruments // *J Endod.* – 2002. – Т. 28, № 8. – С. 567-72.
82. Brkanic T., Stojsin I., Zivkovic S., Vukoje K. Canal wall thickness after preparation with NiTi rotary files // *Microsc Res Tech.* – 2012. – Т. 75, № 3. – С. 253-7.

83. Brunson M., Heilborn C., Johnson D. J., Cohenca N. Effect of apical preparation size and preparation taper on irrigant volume delivered by using negative pressure irrigation system // *J Endod.* – 2010. – T. 36, № 4. – C. 721-4.
84. Bui T. B., Mitchell J. C., Baumgartner J. C. Effect of electropolishing ProFile nickel-titanium rotary instruments on cyclic fatigue resistance, torsional resistance, and cutting efficiency // *J Endod.* – 2008. – T. 34, № 2. – C. 190-3.
85. Bukhary S., Balto H. Antibacterial Efficacy of Octenisept, Alexidine, Chlorhexidine, and Sodium Hypochlorite against *Enterococcus faecalis* Biofilms // *J Endod.* – 2017. – T. 43, № 4. – C. 643-647.
86. Burklein S., Borjes L., Schafer E. Comparison of preparation of curved root canals with Hyflex CM and Revo-S rotary nickel-titanium instruments // *Int Endod J.* – 2014. – T. 47, № 5. – C. 470-6.
87. Caggianiello G., Kleerebezem M., Spano G. Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria: from health-promoting benefits to stress tolerance mechanisms // *Appl Microbiol Biotechnol.* – 2016. – T. 100, № 9. – C. 3877-86.
88. Camilleri J., Sorrentino F., Damidot D. Characterization of un-hydrated and hydrated BioAggregate and MTA Angelus // *Clin Oral Investig.* – 2015. – T. 19, № 3. – C. 689-98.
89. Carvalho-Sousa B., Almeida-Gomes F., Carvalho P. R., Maniglia-Ferreira C., Gurgel-Filho E. D., Albuquerque D. S. Filling lateral canals: evaluation of different filling techniques // *Eur J Dent.* – 2010. – T. 4, № 3. – C. 251-6.
90. Cheung G. S. P. Instrument fracture: mechanisms, removal of fragments, and clinical outcomes // *Endodontic Topics.* – 2007. – T. 16, № 1. – C. 1-26.
91. Choi J., Oh S., Kim Y. C., Jee K. K., Kum K., Chang S. Fracture Resistance of K3 Nickel-Titanium Files Made from Different Thermal Treatments // *Bioinorg Chem Appl.* – 2016. – T. 2016. – C. 6374721.
92. Chow T. W. Mechanical effectiveness of root canal irrigation // *J Endod.* – 1983. – T. 9, № 11. – C. 475-9.



93. Civjan S., Brauer G. M. Physical Properties of Cements, Based on Zinc Oxide, Hydrogenated Rosin, O-Ethoxybenzoic Acid, and Eugenol // *J Dent Res.* – 1964. – T. 43. – C. 281-99.
94. Clauder T., Baumann M. A. ProTaper NT system // *Dent Clin North Am.* – 2004. – T. 48, № 1. – C. 87-111.
95. Cueva-Goig R., Forner-Navarro L., Llana-Puy M. C. Microscopic assessment of the sealing ability of three endodontic filling techniques // *J Clin Exp Dent.* – 2016. – T. 8, № 1. – C. e27-31.
96. D'Antò V., Di Caprio M. P., Ametrano G., Simeone M., Rengo S., Spagnuolo G. 230. Effect of mineral trioxide aggregate on mesenchymal stem cells // *J Endod.* – 2010. – T. 36, № 11. – C. 1839-1843.
97. Dalton B. C., Orstavik D., Phillips C., Pettiette M., Trope M. Bacterial reduction with nickel-titanium rotary instrumentation // *J Endod.* – 1998. – T. 24, № 11. – C. 763-7.
98. De-Deus G., Silva E. J., Vieira V. T., Belladonna F. G., Elias C. N., Plotino G., Grande N. M. Blue Thermomechanical Treatment Optimizes Fatigue Resistance and Flexibility of the Reciproc Files // *J Endod.* – 2017. – T. 43, № 3. – C. 462-466.
99. De Moor R. J., De Boever J. G. The sealing ability of an epoxy resin root canal sealer used with five gutta-percha obturation techniques // *Endod Dent Traumatol.* – 2000. – T. 16, № 6. – C. 291-7.
100. De Moor R. J., Hommez G. M. The long-term sealing ability of an epoxy resin root canal sealer used with five gutta percha obturation techniques // *Int Endod J.* – 2002. – T. 35, № 3. – C. 275-82.
101. Demirbuga S., Pala K., Topcuoglu H. S., Cayabatmaz M., Topcuoglu G., Ucar E. N. Effect of different gutta-percha solvents on the microtensile bond strength of various adhesive systems to pulp chamber dentin // *Clin Oral Investig.* – 2017. – T. 21, № 2. – C. 627-633.
102. Desai S., Chandler N. Calcium hydroxide-based root canal sealers: a review // *J Endod.* – 2009. – T. 35, № 4. – C. 475-80.

103. Druttman A. C., Stock C. J. An in vitro comparison of ultrasonic and conventional methods of irrigant replacement // *Int Endod J.* – 1989. – T. 22, № 4. – C. 174-8.
104. DuLac K. A., Nielsen C. J., Tomazic T. J., Ferrillo P. J., Jr., Hatton J. F. Comparison of the obturation of lateral canals by six techniques // *J Endod.* – 1999. – T. 25, № 5. – C. 376-80.
105. Elnaghy A. M., Elsaka S. E. Mechanical properties of ProTaper Gold nickel-titanium rotary instruments // *Int Endod J.* – 2016. – T. 49, № 11. – C. 1073-1078.
106. Elnaghy A. M., Elsaka S. E. Shaping ability of ProTaper Gold and ProTaper Universal files by using cone-beam computed tomography // *Indian J Dent Res.* – 2016. – T. 27, № 1. – C. 37-41.
107. Elnaghy A. M., Elsaka S. E. Torsional resistance of XP-endo Shaper at body temperature compared with several nickel-titanium rotary instruments // *Int Endod J.* – 2018. – T. 51, № 5. – C. 572-576.
108. Fabra-Campos H. Experimental apical sealing with a new canal obturation system // *J Endod.* – 1993. – T. 19, № 2. – C. 71-5.
109. Falk K. W., Sedgley C. M. The influence of preparation size on the mechanical efficacy of root canal irrigation in vitro // *J Endod.* – 2005. – T. 31, № 10. – C. 742-5.
110. Farmakis E. T., Sotiropoulos G. G., Abramovitz I., Solomonov M. Apical debris extrusion associated with oval shaped canals: a comparative study of WaveOne vs Self-Adjusting File // *Clin Oral Investig.* – 2016. – T. 20, № 8. – C. 2131-2138.
111. Fayazi S., Ostad S. N., Razmi H. Effect of ProRoot MTA, Portland cement, and amalgam on the expression of fibronectin, collagen I, and TGFbeta by human periodontal ligament fibroblasts in vitro // *Indian J Dent Res.* – 2011. – T. 22, № 2. – C. 190-4.
112. Fernandes M., de Ataide I., Wagle R. Tooth resorption part I - pathogenesis and case series of internal resorption // *J Conserv Dent.* – 2013. – T. 16, № 1. – C. 4-8.
113. Resins, Natural. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. / Fiebach K., Grimm D., 2000.

114. Formosa L. M., Mallia B., Bull T., Camilleri J. The microstructure and surface morphology of radiopaque tricalcium silicate cement exposed to different curing conditions // *Dent Mater.* – 2012. – Т. 28, № 5. – С. 584-95.
115. Gambarini G., Tagger M. Sealing ability of a new hydroxyapatite-containing endodontic sealer using lateral condensation and thermatic compaction of gutta-percha, in vitro // *J Endod.* – 1996. – Т. 22, № 4. – С. 165-7.
116. Gandolfi M. G., Siboni F., Botero T., Bossu M., Riccitiello F., Prati C. Calcium silicate and calcium hydroxide materials for pulp capping: biointeractivity, porosity, solubility and bioactivity of current formulations // *J Appl Biomater Funct Mater.* – 2015. – Т. 13, № 1. – С. 43-60.
117. Gandolfi M. G., Siboni F., Prati C. Properties of a novel polysiloxane-guttapercha calcium silicate-bioglass-containing root canal sealer // *Dent Mater.* – 2016. – Т. 32, № 5. – С. e113-26.
118. Gencoglu N., Samani S., Gunday M. Evaluation of sealing properties of Thermafil and Ultrafil techniques in the absence or presence of smear layer // *J Endod.* – 1993. – Т. 19, № 12. – С. 599-603.
119. Goo H. J., Kwak S. W., Ha J. H., Pedulla E., Kim H. C. Mechanical Properties of Various Heat-treated Nickel-titanium Rotary Instruments // *J Endod.* – 2017. – Т. 43, № 11. – С. 1872-1877.
120. Obturation of root canal. *Endodontic Practice.* / Grossman L. – 10 изд. – Philadelphia, PA: Lea and Febiger, 1982. – 297 с.
121. Gu L. S., Huang X. Q., Griffin B., Bergeron B. R., Pashley D. H., Niu L. N., *et al.* *Primum non nocere* - Влияние гипохлорита натрия на дентин, используемый в эндодонтии // *Acta Biomater.* – 2017. – Т. 61. – С. 144-156.
122. Guelzow A., Stamm O., Martus P., Kielbassa A. M. Comparative study of six rotary nickel-titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation // *Int Endod J.* – 2005. – Т. 38, № 10. – С. 743-52.
123. Guivarc'h M., Ordioni U., Ahmed H. M., Cohen S., Catherine J. H., Bukiet F. Sodium Hypochlorite Accident: A Systematic Review // *J Endod.* – 2017. – Т. 43, № 1. – С. 16-24.

124. Gutman J. L., Saunders W. P., Saunders E. M., Nguyen L. Оценка техники пластической термической obturации. II Адаптация материала и герметичность // *Int Endod J.* – 1993. – Т. 26. – С. 179-183.
125. Haapasalo M., Shen Y., Wang Z., Gao Y. Irrigation in endodontics // *Br Dent J.* – 2014. – Т. 216, № 6. – С. 299-303.
126. Hauser V., Braun A., Frentzen M. Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system (RinsEndo) // *Int Endod J.* – 2007. – Т. 40, № 8. – С. 644-52.
127. Hieawy A., Haapasalo M., Zhou H., Wang Z. J., Shen Y. Phase Transformation Behavior and Resistance to Bending and Cyclic Fatigue of ProTaper Gold and ProTaper Universal Instruments // *J Endod.* – 2015. – Т. 41, № 7. – С. 1134-8.
128. Higuera O., Plotino G., Tocci L., Carrillo G., Gambarini G., Jaramillo D. E. Cyclic fatigue resistance of 3 different nickel-titanium reciprocating instruments in artificial canals // *J Endod.* – 2015. – Т. 41, № 6. – С. 913-5.
129. Hirschberg C. S., Patel N. S., Patel L. M., Kadouri D. E., Hartwell G. R. Comparison of sealing ability of MTA and EndoSequence Bioceramic Root Repair Material: a bacterial leakage study // *Quintessence Int.* – 2013. – Т. 44, № 5. – С. e157-62.
130. Hou X., Yahata Y., Hayashi Y., Ebihara A., Hanawa T., Suda H. Phase transformation behaviour and bending property of twisted nickel-titanium endodontic instruments // *Int Endod J.* – 2011. – Т. 44, № 3. – С. 253-8.
131. Hulsmann M., Hahn W. Complications during root canal irrigation--literature review and case reports // *Int Endod J.* – 2000. – Т. 33, № 3. – С. 186-93.
132. Jafari F., Jafari S. Composition and physicochemical properties of calcium silicate based sealers: A review article // *J Clin Exp Dent.* – 2017. – Т. 9, № 10. – С. e1249-e1255.
133. Jensen S. A., Walker T. L., Hutter J. W., Nicoll B. K. Comparison of the cleaning efficacy of passive sonic activation and passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals // *J Endod.* – 1999. – Т. 25, № 11. – С. 735-8.

134. Jiang H. W. [Theory and practice of minimally invasive endodontics] // *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi.* – 2016. – T. 51, № 8. – С. 460-4.
135. Johnson E., Lloyd A., Kuttler S., Namerow K. Comparison between a novel nickel-titanium alloy and 508 nitinol on the cyclic fatigue life of ProFile 25/.04 rotary instruments // *J Endod.* – 2008. – T. 34, № 11. – С. 1406-1409.
136. Jungbluth H., Marending M., De-Deus G., Sener B., Zehnder M. Stabilizing sodium hypochlorite at high pH: effects on soft tissue and dentin // *J Endod.* – 2011. – T. 37, № 5. – С. 693-6.
137. Kahn F. H., Rosenberg P. A., Gliksberg J. An in vitro evaluation of the irrigating characteristics of ultrasonic and subsonic handpieces and irrigating needles and probes // *J Endod.* – 1995. – T. 21, № 5. – С. 277-80.
138. Kassebaum N. J., Smith A. G. C., Bernabe E., Fleming T. D., Reynolds A. E., Vos T., Murray C. J. L., Marcenes W., Collaborators G. B. D. O. H. Global, Regional, and National Prevalence, Incidence, and Disability-Adjusted Life Years for Oral Conditions for 195 Countries, 1990-2015: A Systematic Analysis for the Global Burden of Diseases, Injuries, and Risk Factors // *J Dent Res.* – 2017. – T. 96, № 4. – С. 380-387.
139. Kaval M. E., Capar I. D., Ertas H. Evaluation of the Cyclic Fatigue and Torsional Resistance of Novel Nickel-Titanium Rotary Files with Various Alloy Properties // *J Endod.* – 2016. – T. 42, № 12. – С. 1840-1843.
140. Keir D. M., Senia E. S., Montgomery S. Effectiveness of a brush in removing postinstrumentation canal debris // *J Endod.* – 1990. – T. 16, № 7. – С. 323-7.
141. Khabadze Z. S., Ismailov F. R., Makeeva I. Determination of cyclic fatigue of a nickel-titanium coxo sc pro file using a simulation endodontic unit // *Georgian Medical News.* – 2022. – T. 3, № 324. – С. 54-63.
142. Khabadze Z. S., Makeeva I. M., Ismailov F. R. Optimization of the endodontic treatment protocol using micellar water //. – 2022. – T. 12, № 3. – С. 1-6.
143. Khabadze Z. S., Nazarova D. A., Ismailov F. R. Using solvents for dissolving guttapercha: A systematic review // *Эндодонтия Today.* – 2022. – T. 20, № 1. – С. 42-46.

144. Kim J. Y., Cheung G. S., Park S. H., Ko D. C., Kim J. W., Kim H. C. Effect from cyclic fatigue of nickel-titanium rotary files on torsional resistance // J Endod. – 2012. – Т. 38, № 4. – С. 527-30.
145. Kishen A., Shi Z., Shrestha A., Neoh K. G. An investigation on the antibacterial and antibiofilm efficacy of cationic nanoparticulates for root canal disinfection // J Endod. – 2008. – Т. 34, № 12. – С. 1515-20.
146. Koch K. A., Brave D. G., Nasseh A. A. Bioceramic technology: closing the endo-restorative circle, Part I // Dent Today. – 2010. – Т. 29, № 2. – С. 100-5.
147. Kuttler Y. Microscopic investigation of root apexes // J Am Dent Assoc. – 1955. – Т. 50, № 5. – С. 544-52.
148. Lam P. P., Palamara J. E., Messer H. H. Fracture strength of tooth roots following canal preparation by hand and rotary instrumentation // J Endod. – 2005. – Т. 31, № 7. – С. 529-32.
149. Lambrianidis T., Tosounidou E., Tzoanopoulou M. The effect of maintaining apical patency on periapical extrusion // J Endod. – 2001. – Т. 27, № 11. – С. 696-8.
150. Lantigua Domínguez M. C., Feliz Pedrinha V., Oliveira A., da Silva L. C., Soares Ribeiro M. E., Loretto S. C., de Almeida R. P. Влияние различных ирригационных растворов на устойчивость корней к переломам: исследование *in vitro* // Иран Эндод Дж. – 2018. – Т. 13. – С. 367-372.
151. Larsen C. M., Watanabe I., Glickman G. N., He J. Cyclic fatigue analysis of a new generation of nickel titanium rotary instruments // J Endod. – 2009. – Т. 35, № 3. – С. 401-3.
152. Laurichesse J. M., Santoro J. P. Physiology and biological therapy of apical region of a tooth – obturation cone (I) // Dental Digest. – 1973. – Т. 4. – С. 21-25.
153. Lea C. S., Apicella M. J., Mines P., Yancich P. P., Parker M. H. Comparison of the obturation density of cold lateral compaction versus warm vertical compaction using the continuous wave of condensation technique // J Endod. – 2005. – Т. 31, № 1. – С. 37-9.
154. Leal F., De-Deus G., Brandao C., Luna A. S., Fidel S. R., Souza E. M. Comparison of the root-end seal provided by bioceramic repair cements and White MTA // Int Endod J. – 2011. – Т. 44, № 7. – С. 662-8.

155. Leduc J., Fishelberg G. Endodontic obturation: a review // *Gen Dent.* – 2003. – T. 51, № 3. – C. 232-3.
156. LeGeros R. Z. Calcium phosphate materials in restorative dentistry: a review // *Adv Dent Res.* – 1988. – T. 2, № 1. – C. 164-80.
157. Lertchirakarn V., Palamara J. E., Messer H. H. Patterns of vertical root fracture: factors affecting stress distribution in the root canal // *J Endod.* – 2003. – T. 29, № 8. – C. 523-8.
158. Li U. M., Lee B. S., Shih C. T., Lan W. H., Lin C. P. Cyclic fatigue of endodontic nickel titanium rotary instruments: static and dynamic tests // *J Endod.* – 2002. – T. 28, № 6. – C. 448-51.
159. Lindqvist L., Otteskog P. Eugenol: liberation from dental materials and effect on human diploid fibroblast cells // *Scand J Dent Res.* – 1980. – T. 88, № 6. – C. 552-6.
160. Lopes H. P., Elias C. N., Vieira M. V., Vieira V. T., de Souza L. C., Dos Santos A. L. Influence of Surface Roughness on the Fatigue Life of Nickel-Titanium Rotary Endodontic Instruments // *J Endod.* – 2016. – T. 42, № 6. – C. 965-8.
161. Lopes H. P., Elias C. N., Vieira V. T., Moreira E. J., Marques R. V., de Oliveira J. C., Debelian G., Siqueira J. F., Jr. Effects of electropolishing surface treatment on the cyclic fatigue resistance of BioRace nickel-titanium rotary instruments // *J Endod.* – 2010. – T. 36, № 10. – C. 1653-7.
162. Lovato K. F., Sedgley C. M. Antibacterial activity of endosequence root repair material and proroot MTA against clinical isolates of *Enterococcus faecalis* // *J Endod.* – 2011. – T. 37, № 11. – C. 1542-6.
163. Love R. M. *Enterococcus faecalis*--a mechanism for its role in endodontic failure // *Int Endod J.* – 2001. – T. 34, № 5. – C. 399-405.
164. Malhotra N., Agarwal A., Mala K. Mineral trioxide aggregate: a review of physical properties // *Compend Contin Educ Dent.* – 2013. – T. 34, № 2. – C. e25-32.
165. Malkondu O., Karapinar Kazandag M., Kazazoglu E. A review on biodentine, a contemporary dentine replacement and repair material // *Biomed Res Int.* – 2014. – T. 2014. – C. 160951.

166. Manfredi M., Figini L., Gagliani M., Lodi G. Single versus multiple visits for endodontic treatment of permanent teeth // *Cochrane Database Syst Rev.* – 2016. – Т. 12. – С. CD005296.
167. Marin-Bauza G. A., Rached-Junior F. J., Souza-Gabriel A. E., Sousa-Neto M. D., Miranda C. E., Silva-Sousa Y. T. Physicochemical properties of methacrylate resin-based root canal sealers // *J Endod.* – 2010. – Т. 36, № 9. – С. 1531-6.
168. Маунс R., Глассмен G. Увеличение диаметра апикального сужения: «гибридная» техника // *Roots.* – 2008. – Т. 1, № 2. – С. 5-9.
169. McGill S., Gulabivala K., Mordan N., Ng Y. L. The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo) determined by removal of a collagen 'bio-molecular film' from an ex vivo model // *Int Endod J.* – 2008. – Т. 41, № 7. – С. 602-8.
170. Mitchell R. P., Baumgartner J. C., Sedgley C. M. Apical extrusion of sodium hypochlorite using different root canal irrigation systems // *J Endod.* – 2011. – Т. 37, № 12. – С. 1677-81.
171. Mittal R., Singla M. G., Garg A., Dhawan A. A Comparison of Apical Bacterial Extrusion in Manual, ProTaper Rotary, and One Shape Rotary Instrumentation Techniques // *J Endod.* – 2015. – Т. 41, № 12. – С. 2040-4.
172. Mohammadi Z., Dummer P. M. Properties and applications of calcium hydroxide in endodontics and dental traumatology // *Int Endod J.* – 2011. – Т. 44, № 8. – С. 697-730.
173. Mohammadi Z., Jafarzadeh H., Shalavi S., Kinoshita J. I. Establishing Apical Patency: To be or not to be? // *J Contemp Dent Pract.* – 2017. – Т. 18, № 4. – С. 326-329.
174. Murrin J. R., Reader A., Foreman D. W., Beck M., Meyers W. J. Hydron versus gutta-percha and sealer: a study of endodontic leakage using the scanning electron microscope and energy-dispersive analysis // *J Endod.* – 1985. – Т. 11, № 3. – С. 101-9.
175. Nagaraja S., Sreenivasa Murthy B. V. CT evaluation of canal preparation using rotary and hand NI-TI instruments: An in vitro study // *J Conserv Dent.* – 2010. – Т. 13, № 1. – С. 16-22.



176. Nair P. N., Henry S., Cano V., Vera J. Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after "one-visit" endodontic treatment // *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* – 2005. – T. 99, № 2. – C. 231-52.
177. Niazi S. A., Clark D., Do T., Gilbert S. C., Foschi F., Mannocci F., Beighton D. The effectiveness of enzymic irrigation in removing a nutrient-stressed endodontic multispecies biofilm // *Int Endod J.* – 2014. – T. 47, № 8. – C. 756-68.
178. Nielsen B. A., Craig Baumgartner J. Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals // *J Endod.* – 2007. – T. 33, № 5. – C. 611-5.
179. Nino-Barrera J. L., Aguilera-Canon M. C., Cortes-Rodriguez C. J. Theoretical evaluation of Nickel-Titanium Mtwo series rotary files // *Acta Odontol Latinoam.* – 2013. – T. 26, № 2. – C. 90-6.
180. Nusstein J. Ultrasonic dental device // *Book Ultrasonic dental device / Editor,* 2005.
181. Ogasawara T., Yoshimine Y., Yamamoto M., Akamine A. Biocompatibility of an experimental glass-ionomer cement sealer in rat mandibular bone // *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* – 2003. – T. 96, № 4. – C. 458-65.
182. Oh S., Perinpanayagam H., Kum D. J. W., Lim S. M., Yoo Y. J., Chang S. W., Lee W., Baek S. H., Zhu Q., Kum K. Y. Evaluation of three obturation techniques in the apical third of mandibular first molar mesial root canals using micro-computed tomography // *J Dent Sci.* – 2016. – T. 11, № 1. – C. 95-102.
183. Oswald R. J., Cohn S. A. Systemic distribution of lead from root canal fillings // *J Endod.* – 1975. – T. 1, № 2. – C. 59-63.
184. Ozyurek T., Gundogar M., Yilmaz K., Uslu G. Bending resistance and cyclic fatigue life of Reciproc Blue, WaveOne Gold, and Genius files in a double (S-shaped) curved canal // *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects.* – 2017. – T. 11, № 4. – C. 241-246.
185. Parashos P., Gordon I., Messer H. H. Factors influencing defects of rotary nickel-titanium endodontic instruments after clinical use // *J Endod.* – 2004. – T. 30, № 10. – C. 722-5.

186. Parirokh M., Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--Part I: chemical, physical, and antibacterial properties // *J Endod.* – 2010. – T. 36, № 1. – C. 16-27.
187. Pereira E. S., Gomes R. O., Leroy A. M., Singh R., Peters O. A., Bahia M. G., Buono V. T. Mechanical behavior of M-Wire and conventional NiTi wire used to manufacture rotary endodontic instruments // *Dent Mater.* – 2013. – T. 29, № 12. – C. e318-24.
188. Pereira E. S., Peixoto I. F., Viana A. C., Oliveira, II, Gonzalez B. M., Buono V. T., Bahia M. G. Physical and mechanical properties of a thermomechanically treated NiTi wire used in the manufacture of rotary endodontic instruments // *Int Endod J.* – 2012. – T. 45, № 5. – C. 469-74.
189. Pereira E. S., Viana A. C., Buono V. T., Peters O. A., Bahia M. G. Behavior of nickel-titanium instruments manufactured with different thermal treatments // *J Endod.* – 2015. – T. 41, № 1. – C. 67-71.
190. Plotino G., Grande N. M., Cordaro M., Testarelli L., Gambarini G. A review of cyclic fatigue testing of nickel-titanium rotary instruments // *J Endod.* – 2009. – T. 35, № 11. – C. 1469-76.
191. Plotino G., Pameijer C. H., Grande N. M., Somma F. Ultrasonics in endodontics: a review of the literature // *J Endod.* – 2007. – T. 33, № 2. – C. 81-95.
192. Portenier I., Lutz F., Barbakow F. Preparation of the apical part of the root canal by the Lightspeed and step-back techniques // *Int Endod J.* – 1998. – T. 31, № 2. – C. 103-11.
193. Provenzano J. C., Siqueira J. F., Jr., Rocas I. N., Domingues R. R., Paes Leme A. F., Silva M. R. Metaproteome analysis of endodontic infections in association with different clinical conditions // *PLoS One.* – 2013. – T. 8, № 10. – C. e76108.
194. Ram Z. Effectiveness of root canal irrigation // *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* – 1977. – T. 44, № 2. – C. 306-12.
195. Ranjan M. Review on biodentine-a bioactive dentin substitute // *J Dent Med Sci.* – 2014. – T. 13, № 1. – C. 13-17.

196. Rickert U., Dixon C. The control of root surgery // Transactions of the 8th International Dental Congress. – 1933. – T. 9. – C. 1458.
197. Rickert U., Dixon C. The controlling of root surgery // Congres Dentaire International. – 1931. – C. 15-22.
198. Rocas I. N., Siqueira J. F., Jr. Identification of bacteria enduring endodontic treatment procedures by a combined reverse transcriptase-polymerase chain reaction and reverse-capture checkerboard approach // J Endod. – 2010. – T. 36, № 1. – C. 45-52.
199. Rubio J., Zarzosa J. I., Pallares A. A Comparative Study of Shaping Ability of four Rotary Systems // Acta Stomatol Croat. – 2015. – T. 49, № 4. – C. 285-93.
200. Ruddle C. J. Endodontic disinfection: tsunami irrigation // Endod Practice. – 2008. – T. Feb. – C. 7-15.
201. Ruddle C. J. Microbrush for endodontic use // Book Microbrush for endodontic use / Editor. – Washington, DC, 2001.
202. Saluja P., Mir S., Bavabeedu S. S., Arora S., Abdulla A. M., Baba S. M. Relation between Apical Seal and Apical Preparation Diameter: An In Vitro Study // J Pharm Bioallied Sci. – 2020. – T. 12, № Suppl 1. – C. S332-S335.
203. Sargenti A. Debate on N2: is N2 an acceptable method of treatment? // Trans Int Conf Endod. – 1973. – T. 5, № 0. – C. 176-95.
204. Sathorn C., Palamara J. E., Palamara D., Messer H. H. Effect of root canal size and external root surface morphology on fracture susceptibility and pattern: a finite element analysis // J Endod. – 2005. – T. 31, № 4. – C. 288-92.
205. Saxena P., Gupta S. K., Newaskar V. Biocompatibility of root-end filling materials: recent update // Restor Dent Endod. – 2013. – T. 38, № 3. – C. 119-27.
206. Schafer E., Schulz-Bongert U., Tulus G. Comparison of hand stainless steel and nickel titanium rotary instrumentation: a clinical study // J Endod. – 2004. – T. 30, № 6. – C. 432-5.
207. Setlock J., Fayad M. I., BeGole E., Bruzick M. Evaluation of canal cleanliness and smear layer removal after the use of the Quantec-E irrigation system and syringe: a

comparative scanning electron microscope study // Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. – 2003. – Т. 96, № 5. – С. 614-7.

208. Shahi S., Rahimi S., Hasan M., Shiezadeh V., Abdolrahimi M. Sealing ability of mineral trioxide aggregate and Portland cement for furcal perforation repair: a protein leakage study // J Oral Sci. – 2009. – Т. 51, № 4. – С. 601-6.

209. Shen C. Impression Materials // Phillips' science of dental materials / Anusavice К. и др. – St. Louis, Mo: Elsevier/Saunders, 2013. – С. 151-181.

210. Shen Y., Qian W., Abtin H., Gao Y., Haapasalo M. Effect of environment on fatigue failure of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments // J Endod. – 2012. – Т. 38, № 3. – С. 376-80.

211. Shen Y., Qian W., Abtin H., Gao Y., Haapasalo M. Fatigue testing of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments // J Endod. – 2011. – Т. 37, № 7. – С. 997-1001.

212. Shen Y., Zhou H., Coil J. M., Aljazaeri B., Buttar R., Wang Z., Zheng Y. F., Haapasalo M. ProFile Vortex and Vortex Blue Nickel-Titanium Rotary Instruments after Clinical Use // J Endod. – 2015. – Т. 41, № 6. – С. 937-42.

213. Shen Y., Zhou H. M., Zheng Y. F., Peng B., Haapasalo M. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments // J Endod. – 2013. – Т. 39, № 2. – С. 163-72.

214. Shipper G., Orstavik D., Teixeira F. B., Trope M. An evaluation of microbial leakage in roots filled with a thermoplastic synthetic polymer-based root canal filling material (Resilon) // J Endod. – 2004. – Т. 30, № 5. – С. 342-7.

215. Shirokova D. S., Khabadze Z. S., Voskresenskaya D. V., Ismailov F. R. The analysis of research methods and results on resistance of nickel-titanium endo-dontic instruments to torsion load: the systematic review // Эндодонтия Today. – 2021. – Т. 19, № 4.

216. Shrestha A., Kishen A. Antibacterial Nanoparticles in Endodontics: A Review // J Endod. – 2016. – Т. 42, № 10. – С. 1417-26.

217. Shrestha D., Wei X., Wu W. C., Ling J. Q. Resilon: a methacrylate resin-based obturation system // J Dent Sci – 2010. – Т. 5. – С. 47-52.

218. Shuping G. B., Orstavik D., Sigurdsson A., Trope M. Reduction of intracanal bacteria using nickel-titanium rotary instrumentation and various medications // *J Endod.* – 2000. – Т. 26, № 12. – С. 751-5.
219. Silva E. J., Herrera D. R., Souza-Junior E. J., Teixeira J. M. Influence of irrigation and obturation techniques on artificial lateral root canal filling capacity // *Acta Odontol Latinoam.* – 2013. – Т. 26, № 2. – С. 112-5.
220. Singh H., Kaur M., Markan S., Kapoor P. Biodentine: A promising dentin substitute // *J Interdiscipl Med Dent Sci.* – 2014. – Т. 2. – С. 140.
221. Singh R., Chaudhary S., Manuja N., Chaitra T. R., Sinha A. A. Evaluation of Different Root Canal Obturation Methods in Primary Teeth Using Cone Beam Computerized Tomography // *J Clin Pediatr Dent.* – 2015. – Т. 39, № 5. – С. 462-9.
222. Siqueira J. F., Jr., Rocas I. N. Optimising single-visit disinfection with supplementary approaches: a quest for predictability // *Aust Endod J.* – 2011. – Т. 37, № 3. – С. 92-8.
223. Skrtic D., Antonucci J. M., Eanes E. D., Eichmiller F. C., Schumacher G. E. Physicochemical evaluation of bioactive polymeric composites based on hybrid amorphous calcium phosphates // *J Biomed Mater Res.* – 2000. – Т. 53, № 4. – С. 381-91.
224. Smith R. S., Weller R. N., Loushine R. J., Kimbrough W. F. Effect of varying the depth of heat application on the adaptability of gutta-percha during warm vertical compaction // *J Endod.* – 2000. – Т. 26, № 11. – С. 668-72.
225. Soares R. G., Lopes H. P., Elias C. N., *et al.* Сравнительное исследование механических свойств приборов из обычных, М-проволочных, R-фазных и никель-титановых сплавов с контролируемой памятью // *ЭНДО – Эндодонтическая практика сегодня.* – 2017. – Т. 11. – С. 271-277.
226. Somma F., Cretella G., Carotenuto M., Pecci R., Bedini R., De Biasi M., Angerame D. Quality of thermoplasticized and single point root fillings assessed by micro-computed tomography // *Int Endod J.* – 2011. – Т. 44, № 4. – С. 362-9.
227. Soundappan S., Sundaramurthy J. L., Raghu S., Natanasabapathy V. Biodentine versus Mineral Trioxide Aggregate versus Intermediate Restorative Material for

- Retrograde Root End Filling: An Invitro Study // J Dent (Tehran). – 2014. – Т. 11, № 2. – С. 143-9.
228. Spangberg L. The wonderful world of rotary root canal preparation // Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. – 2001. – Т. 92, № 5. – С. 479.
229. Spangberg L., Langeland K. Biologic effects of dental materials. 1. Toxicity of root canal filling materials on HeLa cells in vitro // Oral Surg Oral Med Oral Pathol. – 1973. – Т. 35, № 3. – С. 402-14.
230. Spangberg L. S., Barbosa S. V., Lavigne G. D. AH 26 releases formaldehyde // J Endod. – 1993. – Т. 19, № 12. – С. 596-8.
231. Spili P., Parashos P., Messer H. H. The impact of instrument fracture on outcome of endodontic treatment // J Endod. – 2005. – Т. 31, № 12. – С. 845-50.
232. Susin L., Liu Y., Yoon J. C., Parente J. M., Loushine R. J., Ricucci D., Bryan T., Weller R. N., Pashley D. H., Tay F. R. Canal and isthmus debridement efficacies of two irrigant agitation techniques in a closed system // Int Endod J. – 2010. – Т. 43, № 12. – С. 1077-90.
233. Swarup S. J., Rao A., Boaz K., Srikant N., Shenoy R. Pulpal response to nano hydroxyapatite, mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide when used as a direct pulp capping agent: an in vivo study // J Clin Pediatr Dent. – 2014. – Т. 38, № 3. – С. 201-6.
234. Tan B. T., Messer H. H. The quality of apical canal preparation using hand and rotary instruments with specific criteria for enlargement based on initial apical file size // J Endod. – 2002. – Т. 28, № 9. – С. 658-64.
235. Tanalp J., Dikbas I., Malkondu Ö., Ersev H., Güngör T., Bayırlı G. Сравнение сопротивления переломам моделируемых незрелых постоянных зубов с использованием различных материалов для пломбирования каналов и волоконных столбов // Дент Травматол. – 2012. – Т. 28. – С. 457-64.
236. Tartari T., Bachmann L., Maliza A. G., Andrade F. B., Duarte M. A., Bramante C. M. Tissue dissolution and modifications in dentin composition by different sodium hypochlorite concentrations // J Appl Oral Sci. – 2016. – Т. 24, № 3. – С. 291-8.

237. Thompson S. A. Обзор никель-титановых сплавов, используемых в стоматологии // Международный эндодонтический журнал. – 2000. – Т. 33, № 4. – С. 297-310.
238. Topcuoglu H. S., Duzgun S., Akti A., Topcuoglu G. Laboratory comparison of cyclic fatigue resistance of WaveOne Gold, Reciproc and WaveOne files in canals with a double curvature // Int Endod J. – 2017. – Т. 50, № 7. – С. 713-717.
239. Topcuoglu H. S., Topcuoglu G. Cyclic Fatigue Resistance of Reciproc Blue and Reciproc Files in an S-shaped Canal // J Endod. – 2017. – Т. 43, № 10. – С. 1679-1682.
240. Torabinejad M., Bahjri K. Essential elements of evidenced-based endodontics: steps involved in conducting clinical research // J Endod. – 2005. – Т. 31, № 8. – С. 563-9.
241. Tronstad L., Barnett F., Schwartzben L., Frasca P. Effectiveness and safety of a sonic vibratory endodontic instrument // Endod Dent Traumatol. – 1985. – Т. 1, № 2. – С. 69-76.
242. Tuloglu N., Bayrak S. Comparative evaluation of mineral trioxide aggregate and bioaggregate as apical barrier material in traumatized nonvital, immature teeth: A clinical pilot study // Niger J Clin Pract. – 2016. – Т. 19, № 1. – С. 52-7.
243. Ulusoy O. I., Genc Sen O., Zeyrek S., Kaya M., Paltun Y. N. Effect of final irrigation protocols on the fracture resistance of roots with varying dentine thickness // Eur J Oral Sci. – 2021. – Т. 129, № 2. – С. e12769.
244. Upadya M., Shrestha A., Kishen A. Role of efflux pump inhibitors on the antibiofilm efficacy of calcium hydroxide, chitosan nanoparticles, and light-activated disinfection // J Endod. – 2011. – Т. 37, № 10. – С. 1422-6.
245. Usman N., Baumgartner J. C., Marshall J. G. Influence of instrument size on root canal debridement // J Endod. – 2004. – Т. 30, № 2. – С. 110-2.
246. Uzunoglu E., Ilgin C., Yuruker S., Gorduysus M. Radiological, stereological, and microscopic evaluation of the quality of canal fillings in oval-shaped root canals prepared with self-adjusting file // Scanning. – 2016. – Т. 38, № 5. – С. 427-433.
247. van der Sluis L. W., Gambarini G., Wu M. K., Wesselink P. R. The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine

- debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation // *Int Endod J.* – 2006. – T. 39, № 6. – C. 472-6.
248. Viola N. V., Tanomaru Filho M., Cerri P. Mta versus portland cement: review of literature // *Rev Sul-bras Odontol.* – 2011. – T. 8, № 4. – C. 446-452.
249. Virdee S. S., Thomas M. B. A practitioner's guide to gutta-percha removal during endodontic retreatment // *Br Dent J.* – 2017. – T. 222, № 4. – C. 251-257.
250. Vivan R. R., Zapata R. O., Zeferino M. A., Bramante C. M., Bernardineli N., Garcia R. B., Hungaro Duarte M. A., Tanomaru Filho M., Gomes de Moraes I. Evaluation of the physical and chemical properties of two commercial and three experimental root-end filling materials // *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* – 2010. – T. 110, № 2. – C. 250-6.
251. von Arx T., Hanni S., Jensen S. S. 5-year results comparing mineral trioxide aggregate and adhesive resin composite for root-end sealing in apical surgery // *J Endod.* – 2014. – T. 40, № 8. – C. 1077-81.
252. Walters M. J., Baumgartner J. C., Marshall J. G. Efficacy of irrigation with rotary instrumentation // *J Endod.* – 2002. – T. 28, № 12. – C. 837-9.
253. Wennberg A., Orstavik D. Evaluation of alternatives to chloroform in endodontic practice // *Endod Dent Traumatol.* – 1989. – T. 5, № 5. – C. 234-7.
254. Wick A., Vohringer O., Pelton A. R. The bending behavior of NiTi // *Journal de Physique IV.* – 1995. – T. Colloque C8 (ICOMAT-95), № 5. – C. 789-794.
255. Wickham H. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis* // *Book ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis / EditorSpringer-Verlag New York, 2009.*
256. Winkler K. C., Van Amerongen J. Bacteriologic results from 4,000 root canal cultures // *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* – 1959. – T. 12, № 7. – C. 857-75.
257. Wourms D. J., Campbell A. D., Hicks M. L., Pelleu G. B., Jr. Alternative solvents to chloroform for gutta-percha removal // *J Endod.* – 1990. – T. 16, № 5. – C. 224-6.
258. Wu M. K., R'Oris A., Barkis D., Wesselink P. R. Prevalence and extent of long oval canals in the apical third // *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* – 2000. – T. 89, № 6. – C. 739-43.
259. Zehnder M. Root canal irrigants // *J Endod.* – 2006. – T. 32, № 5. – C. 389-98.



260. Zhou H. M., Shen Y., Zheng W., Li L., Zheng Y. F., Haapasalo M. Physical properties of 5 root canal sealers // *J Endod.* – 2013. – T. 39, № 10. – C. 1281-6.
261. Zorko M., Jerala R. Alexidine and chlorhexidine bind to lipopolysaccharide and lipoteichoic acid and prevent cell activation by antibiotics // *J Antimicrob Chemother.* – 2008. – T. 62, № 4. – C. 730-7.
262. Devaraj S., Jagannathan N., Neelakantan P. Antibiofilm efficacy of photoactivated curcumin, triple and double antibiotic paste, 2% chlorhexidine and calcium hydroxide against *Enterococcus fecalis* in vitro // *Sci Rep.* – 2016. – T. 6. – C. 24797.
263. Ercan E., Ozekinci T., Atakul F., Gul K. Antibacterial activity of 2% chlorhexidine gluconate and 5.25% sodium hypochlorite in infected root canal: in vivo study // *J Endod.* – 2004. – T. 30, № 2. – C. 84-7.
264. Ersoy I., Kol E., Uygun A. D., Tanriver M., Seckin F. Comparison of cyclic fatigue resistance between different NiTi instruments with 4% taper // *Microsc Res Tech.* – 2016. – T. 79, № 5. – C. 345-8.
265. Ordinola-Zapata R., Bramante C. M., Aprecio R. M., Handysides R., Jaramillo D. E. Biofilm removal by 6% sodium hypochlorite activated by different irrigation techniques // *Int Endod J.* – 2014. – T. 47, № 7. – C. 659-66.