

**Ничипор Евгения Александровна**

**ВОЗМОЖНОСТИ МИКРОФОКУСНОЙ КОНУСНО-ЛУЧЕВОЙ  
КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ В ВИЗУАЛИЗАЦИИ  
СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ИНОРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ  
(ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)**

14.01.13 – лучевая диагностика, лучевая терапия (медицинские науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ВО МГМСУ им. А. И. Евдокимова Минздрава России)

**Научный руководитель:**

доктор медицинских наук, доцент

**ПЕТРОВСКАЯ Виктория Васильевна**

**Научный консультант:**

доктор медицинских наук, доцент

**АЛПАТОВА Виктория Георгиевна**

**Официальные оппоненты:**

**АРЖАНЦЕВ Андрей Павлович** – доктор медицинских наук, профессор, заслуженный врач РФ, федеральное государственное бюджетное учреждение Национальный медицинский исследовательский центр «Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, заведующий рентгенологическим отделением, ведущий научный сотрудник

**ДЕРГИЛЕВ Александр Петрович** – доктор медицинских наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, кафедра лучевой диагностики, заведующий кафедрой

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Защита состоится « 20 » апреля 2022 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д208.041.04, созданного на базе ФГБОУ ВО МГМСУ им. А. И. Евдокимова Минздрава России по адресу: 125006, г. Москва, ул. Долгоруковская, д. 4. стр. 7 (помещение кафедры истории медицины).

Почтовый адрес: 127473, г. Москва, ул. Делегатская 20/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО МГМСУ им. А. И. Евдокимова Минздрава России по адресу: 127206, г. Москва, ул. Вучетича, д. 10а и на сайте <http://dissov.msmsu.ru>.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

**Ученый секретарь**

диссертационного совета Д208.041.04,  
кандидат медицинских наук, доцент

**ХОХЛОВА Татьяна Юрьевна**

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность темы

Для рентгенологической оценки состояния структур зубочелюстной системы (ЗЧС) применяются методики традиционной рентгенографии и компьютерной томографии (Чибисова М. А. и др., 2020; Трутень В. П., 2020). Для традиционной рентгенографии характерны геометрические и суммационные искажения (Лежнев Д. А. и др., 2019). Использование микрофокусных рентгеновских трубок позволяет получить более резкое, контрастное, увеличенное псевдообъемное изображение в сочетании со сниженной радиационной нагрузкой, но искажения и суммация не исключаются (Клестова И. А. и др., 2016).

Мультисрезовая компьютерная томография (МСКТ) и конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) позволяют получать реконструкции, которые не содержат суммации и искажений (Михальченко А. В. и др., 2018; Лежнев Д. А. и др., 2019; Patel S. et al., 2019). МСКТ и КЛКТ применяются в ходе диагностики патологии ЗЧС различной этиологии, планирования и контроля эндодонтического лечения, хирургических и реконструктивных вмешательств в челюстно-лицевой области (Петровская В. В., 2016; Долгалев А. А. и др., 2017; Лежнев Д. А. и др., 2017; Bohner L. O. L. et al., 2017; Qiao X. et al., 2018; Patel S. et al., 2019). На информативность исследования значимо влияют характерные для методик рентгеновской компьютерной томографии выраженные артефакты, возникающие на изображениях в присутствии инородных тел высокой плотности (Candemil A. P. et al., 2018; Demirturk Kocasarac H. et al., 2019).

Микрофокусная конусно - лучевая компьютерная томография (микроКЛКТ) – разновидность КЛКТ, в которой применяется рентгеновская трубка с фокусным пятном размером менее 100 мкм. МикроКЛКТ позволяет получать мультипланарные и трехмерные реконструкции с высоким пространственным разрешением и уменьшать выраженность артефактов от плотных объектов (Староверов Н. Е., Грязнов А. Ю., Потрахов Н. Н., 2018). При использовании современных аппаратов для микроКЛКТ доступно только длительное по времени сканирование неподвижных объектов ограниченного объема, поэтому методика

используется в медицине только в экспериментальных исследованиях (Hutchinson J. C. et al., 2017; Ободовский А. В., 2018). Для работы с применением микроКЛКТ не разработаны алгоритмы сканирования, во многих исследованиях анализ производился на основании небольшого числа сканирований (Hutchinson J. C. et al., 2017; de Sousa-Neto M. D. et al., 2018; Aksoy U. et al., 2021). В России только немногочисленные коллективы авторов использовали микроКЛКТ в своих научных работах в медицине (Овчаренко Е. А. и др. 2017; Доменюк Д. А. и др., 2019; Клышников К. Ю. и др., 2018, 2019; Васильев А. Ю., Ничипор Е. А. и др., 2020). Таким образом, микроКЛКТ – новая и перспективная, но мало изученная технология рентгенологического исследования в медицине.

### **Степень разработанности проблемы**

При помощи микроКЛКТ ряд авторов визуализировали структуру костной ткани (Vasconcelos K. F. et al., 2016; Ничипор Е. А. и др., 2019; Irie M. S. et al., 2018; Liu, X. et al., 2021) и изучали естественные и патологические процессы изменения минерализации зубов (Левицкая А. Д. и др., 2018; Доменюк Д. А. и др., 2019). Методика микроКЛКТ позволила наблюдать строение микроскопических корневых каналов (Wolf T. et al., 2017; Ничипор Е. А., Петровская В. В. и др., 2020). Проводились исследования по обнаружению переломов корней зубов на микроКЛКТ-томограммах (Baugam N. M. et al., 2017; De-Deus G. et al., 2019). По результатам микроКЛКТ анализировали последствия применения различных инструментов и алгоритмов в ходе эндодонтического лечения (Митронин А. В. и др., 2018; de Sousa-Neto M. D. et al., 2018) и определяли свойства пломбировочных материалов в корневых каналах зубов после лечения (Torres F. F. E. et al., 2018; Петровская В. В. и др. 2019; Васильев А. Ю., Ничипор Е. А. и др., 2021). МикроКЛКТ применялась для визуализации сломанных металлических инструментов в корневых каналах удаленных зубов (Meng Y. et al., 2020; Ничипор Е. А., Петровская В. В. и др., 2021). В исследованиях отмечалась высокая информативность микроКЛКТ и перспективность ее применения в стоматологии.

В научной литературе выявляется закономерность, согласно которой интерес к микроКЛКТ в медицине растет, но возможности методики на сегодняшний день

остаются малоизученными. Не проводилась всесторонняя сравнительная оценка визуализации высокоплотных инородных материалов в области ЗЧС по данным микроКЛКТ в сравнении с КЛКТ и МСКТ. Не установлены рентгеносемиотические признаки многих эндодонтических материалов по данным микроКЛКТ.

### **Цель исследования**

Совершенствование лучевой диагностики костных структур и высокоплотных инородных материалов в области зубочелюстной системы за счет сравнительного анализа информативности исследований с использованием мультисрезовой, конусно-лучевой и микрофокусной конусно-лучевой компьютерных томографий.

### **Задачи исследования**

1. Провести сравнительный анализ информативности экспериментального исследования препаратов челюстей при использовании мультисрезовой, конусно-лучевой и микрофокусной конусно-лучевой компьютерных томографий.

2. Провести сравнительный анализ информативности экспериментального исследования удаленных зубов до и после эндодонтического лечения при использовании мультисрезовой, конусно-лучевой и микрофокусной конусно-лучевой компьютерных томографий.

3. Установить рентгеносемиотические признаки пломбировочных материалов, использованных при эндодонтическом лечении, по результатам проведенных исследований компьютерных томографий.

4. Оценить влияние инородных высокоплотных материалов на информативность полученных диагностических изображений.

### **Научная новизна исследования**

Диссертационное исследование является первым в России научным трудом, посвященным всестороннему анализу возможностей микроКЛКТ в сравнении с КЛКТ и МСКТ при исследовании препаратов нижней челюсти и удаленных зубов до и после эндодонтического лечения, а также в присутствии металлических объектов. На основании результатов диссертационного исследования

зарегистрирована база данных изображений микроКЛКТ корней удаленных зубов, каналы которых содержат пломбировочные материалы и фрагменты преднамеренно сломанных инструментов для эндодонтического лечения (свидетельство о регистрации № 2021620403 от 04.03.2021). Впервые проведены сравнительный анализ мультипланарных реконструкций по данным экспериментального исследования удаленных зубов при использовании МСКТ, КЛКТ и микроКЛКТ и сравнительная оценка количества и строения каналов корней удаленных зубов, наличия содержимого в корневых каналах, а также для обнаружения линий перелома корней удаленных зубов. Впервые описаны рентгеносемиотические признаки различных пломбировочных материалов по данным КЛКТ и микроКЛКТ. Впервые проанализирована информативность КЛКТ и микроКЛКТ при изучении металлических объектов в корневых каналах удаленных зубов, в том числе в присутствии различных пломбировочных материалов. Впервые осуществлен сравнительный анализ МСКТ, КЛКТ и микроКЛКТ при визуализации структуры костной ткани и анатомических ориентиров нижней челюсти, в том числе в присутствии металлических конструкций. Впервые произведена сравнительная оценка информативности МСКТ, КЛКТ и микроКЛКТ в присутствии высокоплотных инородных материалов, таких, как эндодонтические материалы, металлические ортопедические конструкции и фрагменты сломанных металлических инструментов в области ЗЧС.

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

В ходе диссертационной работы разработана методология сканирования и анализа результатов микроКЛКТ удаленных зубов и препаратов нижней челюсти, в том числе в присутствии высокоплотных эндодонтических материалов и металлических объектов. В ходе сравнительного анализа данных сканирования препаратов ЗЧС при помощи МСКТ, КЛКТ и микроКЛКТ были сделаны выводы о диагностических возможностях использованных методик компьютерной томографии. Результаты исследования показывают преимущества КЛКТ по сравнению с МСКТ, и микроКЛКТ по сравнению с МСКТ и КЛКТ в исследовании

препаратов челюстей и удаленных зубов. По данным микроКЛКТ получены уникальные рентгеносемиотические признаки нескольких пломбировочных материалов, использованных в исследовании. Предложено уникальное описание рентгенологической картины этих материалов на микроскопическом уровне. Результаты микроКЛКТ корней зубов в присутствии инородных материалов были зарегистрированы в виде базы двухмерных изображений.

В ходе исследования был выполнен сравнительный анализ влияния высокоплотных пломбировочных материалов на информативность КЛКТ-томограмм и микроКЛКТ-томограмм. Изучены результаты КЛКТ и микроКЛКТ в исследовании фрагментов сломанных металлических инструментов в корневых каналах зубов в присутствии пломбировочных материалов и без них. Проведена оценка влияния крупных металлических конструкций на визуализацию кости нижней челюсти по данным микроКЛКТ и КЛКТ. В результате была доказана более высокая информативность микроКЛКТ при исследовании области ЗЧС с высокоплотными инородными элементами.

Учитывая выводы сравнительного анализа для КЛКТ и МСКТ предложены рекомендации по оптимизации лучевого исследования ЗЧС в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии и обоснован выбор микроКЛКТ в качестве предпочтительной методики для экспериментальных исследований ЗЧС, в том числе в присутствии высокоплотных инородных материалов.

### **Материалы и методы исследования**

Диссертационное исследование было выполнено в несколько этапов.

На этапе библиографического исследования изучены зарубежные и отечественные публикации, посвященные изучаемой проблеме. Всего по теме диссертации было выделено 169 публикаций, из них 60 зарубежных и 109 отечественных. На первом этапе экспериментальной работы выполнялись МСКТ, КЛКТ и микроКЛКТ 4 препаратов нижних челюстей, а также 76 удаленных зубов, которые имели 136 корней. На втором этапе эксперимента корни 71 удаленного зуба были пролечены эндодонтически, с применением нескольких пломбировочных материалов. После обработки каждый зуб исследовали при

помощи КЛКТ и микроКЛКТ. У 13 зубов обрабатывались не все корни, поэтому всего было пролечено 109 корней. После эндодонтической обработки корни можно было разделить на группы в зависимости от содержимого корневых каналов:

- а) фрагменты преднамеренно сломанных стальных и никель-титановых инструментов для эндодонтического лечения (26 корней);
- б) кальций-алюмосиликатный цемент (20 корней);
- в) фрагменты металлических инструментов и кальций-алюмосиликатный цемент (9 корней);
- г) стандартная гуттаперча для метода латеральной конденсации холодной гуттаперчи и цинкоксидэвгенольный силер (30 корней);
- д) гуттаперчевые штифты для латеральной конденсации холодной гуттаперчи, цинкоксидэвгенольный силер и фрагменты металлических инструментов (10 корней);
- е) термопластифицированная гуттаперча на пластиковом носителе в сочетании с силером на основе эпоксидной смолы (8 корней);
- ж) термопластифицированная гуттаперча на пластиковом носителе без силера (6 корней).

В исследовании применялись мультисрезовый компьютерный томограф Philips Brilliance 64 (Philips, США), конусно-лучевой компьютерный томограф Kavo OP 3D Vision (Imaging Sciences International LLC, США) и микрофокусный конусно-лучевой компьютерный томограф МРКТ-04 (кафедра ЭПУ Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Россия). По результатам сканирований были построены двухмерные и трехмерные реконструкции при помощи программного обеспечения Radiant, iCatVision и 3D Slicer. В ходе анализа проводились обработка полученных данных с использованием современных методов статистического анализа и обобщение результатов работы с формированием заключения.

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

1. МикроКЛКТ более информативна по сравнению с МСКТ и КЛКТ в экспериментальном исследовании препаратов челюстей, в том числе в присутствии



металлических объектов.

2. МикроКЛКТ более информативна по сравнению с МСКТ и КЛКТ в экспериментальном исследовании корней препаратов удаленных зубов до и после эндодонтического лечения, а также сломанных металлических инструментов в корневых каналах.

3. Различные эндодонтические материалы обладают уникальными рентгеносемиотическими особенностями. Данные рентгенологические характеристики выявляются только на изображениях, полученных с использованием микроКЛКТ.

4. Артефакты от инородных веществ высокой плотности, таких как металл и пломбировочные материалы, ослабляются на изображениях микроКЛКТ.

#### **Связь работы с научными программами, планами**

Диссертационная работа была выполнена в соответствии с научно - исследовательской программой кафедры лучевой диагностики стоматологического факультета ФГБОУ ВО МГМСУ им. А. И. Евдокимова Минздрава России «Разработка и оптимизация современных лучевых диагностических технологий для решения задач клинической практики» (государственная регистрация № АААА-А20-120012890148-0). Тема диссертационного исследования рекомендована к выполнению и утверждена на заседании ученого совета ФГБОУ ВО «Московский государственный медико - стоматологический университет им. А. И. Евдокимова» Минздрава России (протокол № 8 от 9 апреля 2019 г.). Исследования в рамках диссертационной работы одобрены этическим комитетом ФГБОУ ВО МГМСУ им. А. И. Евдокимова Минздрава России (протокол № 03-19 межвузовского комитета по этике от 21.03.2019 г.).

#### **Соответствие диссертационной работы паспорту научной специальности**

Цель, задачи, методы и методики, а также результаты диссертационного исследования соответствуют паспорту специальности 14.01.13 – «Лучевая диагностика, лучевая терапия» (медицинские науки).

### **Личный вклад автора в диссертационное исследование**

Автором проведен анализ научной литературы по теме диссертационного исследования с использованием зарубежных и российских источников. Автор принимала участие в формулировке темы, цели и задач диссертационного исследования и в разработке дизайна исследования. Автор лично вела организацию и контроль подготовки материалов исследования в ходе эндодонтической обработки 71 препарата удаленных зубов и проведении 151 сканирования микроКЛКТ. Автором проведено 21 сканирование МСКТ и 151 сканирование КЛКТ препаратов челюстей и удаленных зубов до и после лечения. Автором проведен сравнительный анализ результатов 21 МСКТ, 151 КЛКТ и 151 микроКЛКТ сканирований препаратов нижней челюсти и удаленных зубов до и после эндодонтического лечения. В ходе анализа автором построены и изучены двухмерные и трехмерные компьютерные реконструкции каждого из препаратов, зарегистрирована база данных изображений препаратов зубов после эндодонтического лечения по данным микроКЛКТ. Автором подготовлены текст и иллюстрации для докладов и изданных по теме диссертационной работы публикаций.

### **Достоверность результатов исследования**

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается числом проанализированных исследований, проведенных с использованием современных методик лучевого исследования: МСКТ, КЛКТ и микроКЛКТ. Данные сканирований микроКЛКТ зарегистрированы в виде базы двухмерных изображений. Результаты диссертационной работы опубликованы в форме статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ и входящих базы публикаций Scopus и Web of Science. Тезисы и доклады по данным диссертационного исследования были представлены и обсуждены на конгрессах и конференциях международного, всероссийского и межрегионального уровней. Выводы и рекомендации основаны на результатах исследования, которые изложены в диссертационной работе и сопровождаются таблицами и рисунками. Интерпретация данных осуществлялась с использованием современных методов обработки информации при помощи

пакета статистических прикладных программ SPSS 16.0.

### **Апробация результатов диссертационного исследования**

Диссертационная работа апробирована и рекомендована к защите на заседании кафедры лучевой диагностики стоматологического факультета ФГБОУ ВО МГМСУ им. А. И. Евдокимова Минздрава России (протокол № 214 от 24.05.2021).

### **Обсуждение основных положений диссертационной работы**

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на всероссийских, межрегиональных и международных конгрессах и конференциях:

1. Межрегиональная научно-практическая конференция с международным участием «Лучевая диагностика: конкурс молодых радиологов» (Смоленск, 27 сентября 2019 г.).

2. VI Всероссийская научно-практическая конференция производителей рентгеновской техники (Санкт-Петербург, 28–29 ноября 2019 г.).

3. IV Межрегиональная научно-практическая online-конференция с международным участием «Лучевая диагностика – Смоленск 2020: конкурс молодых ученых», постерный доклад (Смоленск, 25–25 сентября 2020 г.).

4. Конгресс Российского общества рентгенологов и радиологов 2020, онлайн (Москва, 9–11 ноября 2020 г.).

5. VII Всероссийская научно-практическая конференция производителей рентгеновской техники, онлайн (Санкт-Петербург, 26–27 ноября 2020 г.).

6. XII Международный конгресс «Невский радиологический форум-2021», онлайн (Санкт-Петербург, 7–10 апреля 2021 г.).

### **Внедрение результатов работы**

Результаты диссертационной работы внедрены: в учебный процесс на кафедре лучевой диагностики стоматологического факультета ФГБОУ ВО МГМСУ им. А. И. Евдокимова Минздрава России на этапе дополнительного профессионального образования по специальности «Рентгенология»; в учебный процесс на кафедре ЭПУ ФГАОУ ВО Санкт - Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) при

подготовке курсов лекций для бакалавров и магистров по направлению подготовки «Биомедицинская инженерия»; в учебный процесс ООО «Центральный научно - исследовательский институт лучевой диагностики» на этапе дополнительного профессионального образования; в клиническую практику отделения рентгеновской и лучевой диагностики «Клинического центра челюстно - лицевой, пластической хирургии и стоматологии» клиники МГМСУ им. А. И. Евдокимова.

### **Публикации по теме диссертации**

Результаты диссертационной работы изложены в **18** публикациях. Из них **5** публикаций в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 3 публикации в журналах, индексируемых в базе данных Scopus, и 1 публикация в базе данных Web of Science. Получен патент на базу данных мультипланарных реконструкций по данным микроКЛКТ удаленных зубов, пролеченных эндодонтически (№ 2021620403 от 04.03.2021).

### **Объем и структура диссертационной работы**

Диссертационная работа изложена на 143 страницах машинописного текста, состоит из введения, 3 глав, заключения, выводов, практических рекомендаций и списка литературы, который включает 109 отечественных и 60 иностранных источников, содержит 11 таблиц и 51 рисунок. Диссертация оформлена в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11-2011.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Материалы и методы исследования**

В ходе работы 136 корней ( $n = 136$ ) у 76 удаленных зубов были исследованы при помощи МСКТ, КЛКТ и микроКЛКТ. Затем 109 корней ( $n = 109$ ) у 71 удаленного зуба были пролечены эндодонтически и исследованы с применением КЛКТ и микроКЛКТ. В ходе лечения корни зубов были запломбированы несколькими эндодонтическими материалами. В каналах некоторых корней были преднамеренно сломаны металлические инструменты для эндодонтического лечения, после чего некоторые из этих каналов также пломбировались. Корни пролеченных зубов можно было разделить на группы в зависимости от

содержимого корневых каналов:

- а) фрагменты сломанных металлических инструментов (26 корней);
- б) кальций-алюмосиликатный цемент (20 корней);
- в) фрагменты сломанных металлических инструментов и кальций-алюмосиликатный цемент (9 корней);
- г) гуттаперчевые штифты для латеральной конденсации холодной гуттаперчи и цинкоксидэвгенольный силер (30 корней);
- д) гуттаперчевые штифты для латеральной конденсации холодной гуттаперчи, цинкоксидэвгенольный силер и фрагменты сломанных металлических инструментов (10 корней);
- е) термопластифицированная гуттаперча на пластиковом носителе и силер на основе эпоксидной смолы (8 корней);
- ж) термопластифицированная гуттаперча на пластиковом носителе без силера (6 корней).

Кроме того, 4 препарата кости нижней челюсти, 2 из которых содержали металлические конструкции, закрепленные на кости и зубах, были исследованы при помощи МСКТ, КЛКТ и микроКЛКТ.

По данным сканирований были построены мультипланарные и трехмерные реконструкции и проведен их сравнительный анализ. Результаты анализа обрабатывались в таблице в программе Microsoft Office Excel 2019 / Windows 10. Для доказательства достоверности заключений в ходе исследования применялся пакет статистических прикладных программ SPSS 16.0. Микроскопия в качестве референсного метода не использовалась, так как исследование было посвящено сравнению неразрушающих методик исследования, важной особенностью которых является полное отсутствие вмешательства в структуру объектов.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

В ходе анализа компьютерной томографии зубов до лечения производилась сравнительная оценка информативности МСКТ, КЛКТ и микроКЛКТ по ряду критериев:

1. Количество корней с дополнительными каналами в апикальной части, которые заканчивались апикальными отверстиями. При использовании МСКТ таких случаев не было обнаружено. По данным КЛКТ данный признак обнаруживался в  $n = 24$  (17,6%) корнях, по результатам микроКЛКТ – в  $n = 58$  (42,6%) корнях. Во всех случаях, кроме одного, число дополнительных корневых каналов в корне на микроКЛКТ-томограммах было больше или равно, чем на КЛКТ-томограммах.

2. Количество корней, в которых каналы разделялись на несколько близких по диаметру каналов в апикальной части корня. По данным МСКТ этот признак обнаружился в  $n = 1$  (0,7%) корне, КЛКТ – в  $n = 11$  (8,1%) корнях и микроКЛКТ – в  $n = 25$  (18,4%) корнях. Во всех случаях число образовавшихся корневых каналов на микроКЛКТ-томограммах было больше или равно, чем на КЛКТ-томограммах.

3. Количество корней с дополнительными корневыми каналами, которые заканчивались отверстиями на поверхности зуба не в апикальной области корня. С помощью МСКТ данный признак не обнаруживался, в то время как методика КЛКТ позволяла наблюдать его в  $n = 10$  (7,3%) корнях, а микроКЛКТ – в  $n = 14$  (10,3%) корнях. Количество дополнительных каналов вне апикальной части по данным КЛКТ и микроКЛКТ совпадало в 5,9% ( $n = 8$ ) наблюдений, во всех остальных случаях на изображениях микроКЛКТ число каналов было больше.

4. Количество корней, имевших анастомозы между продольно направленными корневыми каналами. По данным МСКТ анастомозы не обнаруживались. По результатам КЛКТ их можно было видеть в  $n = 7$  (5,1%) корнях, микроКЛКТ – в  $n = 18$  (13,2%) корнях.

5. Количество корней, в каналах которых обнаруживалось содержимое. По данным МСКТ корневые каналы зубов не содержали включений. На КЛКТ-томограммах в корневых каналах обнаруживались округлые структуры высокой плотности в 14,7% ( $n = 20$ ) случаев. По результатам микроКЛКТ корневые каналы содержали включения в 71,3% ( $n = 97$ ) случаев, при этом дополнительно обнаруживались структуры как высокой, так и низкой плотности различной

формы.

6. Число корней, в которых обнаруживались продольные линии перелома, которые сообщались с полостью корневого канала. Подобные повреждения наблюдались с помощью МСКТ в 1,5% ( $n = 2$ ) случаев, КЛКТ – в 21,3% ( $n = 29$ ) случаев, микроКЛКТ – в 42,6% ( $n = 58$ ) случаев.

В итоге, результаты МСКТ по всем перечисленным выше параметрам оказались крайне малоинформативны по сравнению с КЛКТ и микроКЛКТ. Способность микроКЛКТ обнаруживать микроскопические особенности строения корней удаленных зубов была выше КЛКТ и МСКТ во всех случаях (рис. 1, а–в).

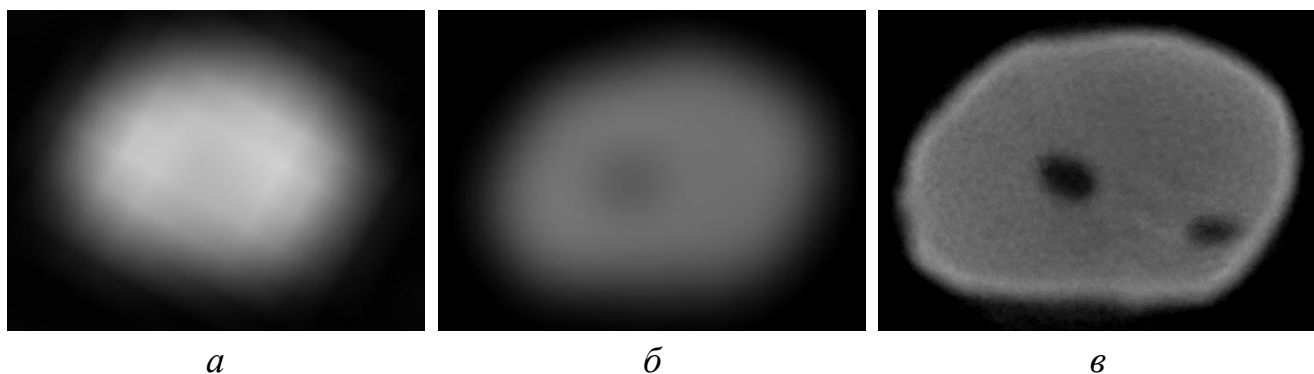


Рис. 1. Изображения апикальной части корня удаленного зуба в аксиальной плоскости: *а* – МСК-томограмма; *б* – КЛКТ-томограмма; *в* – микроКЛКТ-томограмма

Значимость различий в информативности использованных методик компьютерной томографии по каждому из 6 критериев была подтверждена в ходе статистического анализа с использованием критерия Вилкоксона для непараметрических данных. При изучении дополнительных каналов учитывалось не только их наличие, но и количество в каждом корне. По результатам сравнительного анализа в парах между данными КЛКТ/МСКТ, КЛКТ/микроКЛКТ и МСКТ/микроКЛКТ по 6 критериям во всех случаях было получено значение  $p < 0,05$ , что подтверждало статистическую значимость различий.

На втором этапе работы при исследовании препаратов удаленных зубов после лечения рассматривались только КЛКТ и микроКЛКТ, по причине крайне низкой информативности МСКТ на первом этапе. Была произведена характеристика рентгеносемиотических признаков пломбировочных материалов по данным КЛКТ и микроКЛКТ (рис. 2, а, б).

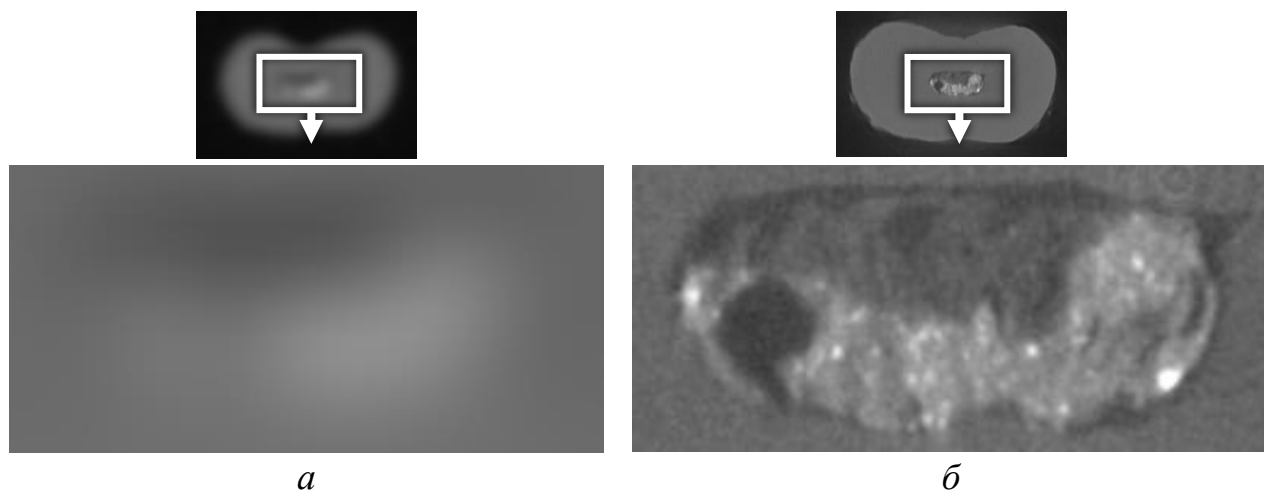


Рис. 2. Фрагменты изображений средней части корня зуба, пролеченного кальций-алюмосиликатным цементом, в аксиальной плоскости. Структура пломбировочного материала: *а* – КЛК-томограмма; *б* – микроКЛК-томограмма

По данным КЛКТ визуализация распределения пломбировочных материалов в корневом канале была затруднена по причине артефактов, которые вызывали нерезкость стенок корневых каналов и эндодонтических материалов внутри них. Пустоты в пролеченных корневых каналах обнаруживались только в случае выраженного неплотного пломбирования. Все пломбировочные материалы обладали плотностью выше дентина. Каналы, пролеченные разными видами гуттаперчи, выглядели более плотными и вызывали более выраженные артефакты по сравнению с каналами, содержащими кальций-алюмосиликатный цемент. При наличии нескольких пломбировочных материалов в одном канале границы между ними не определялись. Структура эндодонтических материалов по данным КЛКТ всегда выглядела однородной. Артефакты влияли на информативность КЛКТ за счет нечеткости эндодонтических материалов, а также в результате сокрытия структур, которые находились вблизи поверхности пломбировочных материалов.

При помощи микроКЛКТ в корневых каналах четко визуализировались очертания эндодонтических материалов и их строение до микроскопических деталей. В результате по данным микроКЛКТ можно было изучить рентгенологические характеристики каждого из 5 пломбировочных материалов по ряду параметров: наличие крупных и микроскопических полостей на границе и в толще эндодонтических материалов, распределение материалов в корневых каналах и их плотность относительно друг друга и дентина, наличие и характер



включений в структуре материалов. Каждый из использованных в экспериментальной работе эндодонтических материалов обладал уникальным набором рентгеносемиотических характеристик.

Металлические инструменты в корневых каналах на КЛК-томограммах обнаруживались на фоне кальций-алюмосиликатного цемента в зависимости от контрастности, яркости и плоскости реконструкции. На фоне гуттаперчевых штифтов фрагменты металла сливались с содержимым канала либо выглядели идентично штифту. Поэтому по данным КЛКТ удалось построить трехмерные модели только для фрагментов металла в каналах, заполненных кальций-алюмосиликатным цементом или не содержащих пломбирочных материалов. На КЛК-томограммах металлические фрагменты имели размытые контуры, а форма их в поперечном сечении всегда была округлой. Поэтому трехмерные модели по данным КЛКТ имели сглаженные поверхности.

На микроКЛК-томограммах сломанные инструменты всегда хорошо выделялись и имели четкие контуры, определялись круглая, треугольная и четырехугольная формы обломков в поперечной плоскости (рис. 3). По данным микроКЛКТ во всех случаях удавалось построить высокодетализированные трехмерные реконструкции.

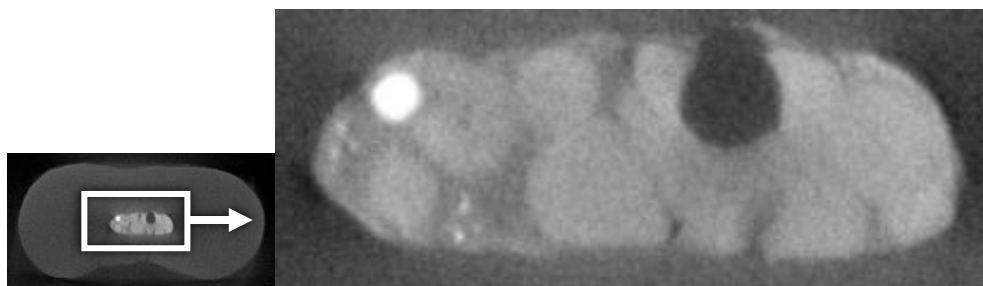


Рис. 3. Фрагмент микроКЛК-томограммы средней части корня зуба в аксиальной плоскости. Канал содержит обломок сломанного металлического инструмента и гуттаперчевые штифты в сочетании с цинкоксидэвгенольным силером

Трехмерные модели обломков металла в корневых каналах по результатам КЛКТ всегда были больше по объему (в  $\text{мм}^3$ ), чем модели тех же обломков по данным микроКЛКТ, причем более чем в 3 раза в 91,4% ( $n = 32$ ) случаев и более чем в 6 раз в 45,7% ( $n = 16$ ) случаев. Также модели по данным КЛКТ в 88,57% ( $n = 31$ ) случаев имели площадь поверхности в ( $\text{мм}^2$ ) больше, чем модели

микроКЛКТ, при этом в 45,71% ( $n = 16$ ) случаев более чем в 2 раза. Длина фрагмента (в мм) по данным КЛКТ была больше, чем по данным микроКЛКТ, в 57,1% ( $n = 20$ ) случаев. Можно сделать заключение, что для трехмерных моделей по данным КЛКТ были свойственны выраженная потеря мелких деталей, увеличение объема и площади поверхности. Значимой закономерности в измерении длины обломков инструментов в зависимости от методики не выявлялось. Значимость заключений была подтверждена в ходе сравнительного анализа таблиц с измерениями по результатам КЛКТ и микроКЛКТ с использованием критерия Вилкоксона. В ходе анализа были получены значения  $p < 0,05$  для сравнения объема и площади поверхности и  $p > 0,05$  для длины.

Таким образом, методика КЛКТ не позволяла описать структуру пломбировочных материалов, при помощи нее не всегда удавалось установить присутствие сломанных инструментов в корневых каналах и правильно охарактеризовать форму металлических обломков. Методика микроКЛКТ всегда давала возможность описать строение пломбировочных материалов в микроскопических деталях и обнаружить сломанные инструменты в корневых каналах, а также предоставила достаточно данных для построения детальных трехмерных моделей металлических объектов.

Анализ возможностей МСКТ, КЛКТ и микроКЛКТ в оценке костной ткани проводился на основании мультипланарных реконструкций по данным сканирования 4 препаратов нижних челюстей. Каналы нижнечелюстных нервов, периодонтальные щели, костные балки и толщину кортикального слоя можно было наблюдать при помощи всех 3 методик. На МСК-томограммах обнаруживалось меньше всего мелких деталей, были выражены артефакты от металлических объектов. Наиболее информативной из трех методик компьютерной томографии была микроКЛКТ. При помощи нее визуализировались микроскопические костные балки даже в областях их плотного скопления, где на КЛК- и МСК-томограммах происходило слияние отдельных элементов воедино. Очертания металлических объектов на микроКЛК-томограммах были более четкими по сравнению с МСКТ и КЛКТ. В то же время за счет способности микроКЛКТ к обнаружению

микроскопических низкоплотных структур на микрофокусных изображениях дополнительно выявлялись элементы, которые были сопоставимы по яркости с артефактами. Поэтому слабовыраженные артефакты от металла на микроКЛК-томограммах могли затруднить визуализацию этих микроскопических и низкоплотных объектов и привести к потере новой информации.

## ВЫВОДЫ

1. В ходе исследования препаратов нижней челюсти микрофокусная конусно-лучевая компьютерная томография характеризовалась наиболее высокой информативностью, так как позволяла по сравнению с мультисрезовой и конусно-лучевой компьютерной томографиями, дополнительно выявить микроскопические и плотно расположенные костные балки, каналы и отверстия в кортикальной кости.

2. По результатам микрофокусной конусно-лучевой компьютерной томографии удаленных зубов до лечения обнаруживались дополнительные каналы в апикальной части корня в 42,6% ( $n = 58$ ), дополнительные каналы за пределами апекса – в 10,3% ( $n = 14$ ), разделение одного канала на несколько каналов – в 18,4% ( $n = 25$ ), анастомозы в 13,2% ( $n = 18$ ), содержимое в каналах в 71,3% ( $n = 97$ ) и продольные переломы корня в 42,6% ( $n = 58$ ) случаев. При использовании конусно-лучевой компьютерной томографии выявляемость перечисленных признаков всегда была ниже в 5 из 6 категорий как минимум в 2 раза. При помощи мультисрезовой компьютерной томографии не удалось визуализировать дополнительные корневые каналы, анастомозы и содержимое каналов, а разделение канала в апикальной части и продольные переломы корня были выявлены только в  $n = 1$  (0,7%) корне и  $n = 2$  (1,5%) корнях соответственно.

3. При анализе данных микрофокусной конусно-лучевой компьютерной томографии препаратов зубов после эндодонтического лечения пломбировочные материалы были охарактеризованы по ряду критериев: распределение в корневых каналах; плотность относительно дентина и других пломбировочных материалов; наличие и характер включений; присутствие полостей в толще материала и в области его контакта со стенками и содержимым корневого канала. По перечисленным характеристикам для каждого пломбировочного материала

сформировалась уникальная рентгеносемиотическая картина.

4. Массивные металлические конструкции, закрепленные на препаратах нижней челюсти, и фрагменты металлических инструментов, преднамеренно сломанные в корневых каналах удаленных зубов, меньше всего влияли на информативность изображений при использовании микрофокусной конусно-лучевой компьютерной томографии. Только при использовании микрофокусной конусно-лучевой компьютерной томографии можно было обнаружить все фрагменты сломанных металлических инструментов в запломбированных корневых каналах удаленных зубов. Объем трехмерных моделей фрагментов металла в корневых каналах по результатам конусно-лучевой компьютерной томографии всегда был больше по объему, чем по данным микрофокусной конусно-лучевой компьютерной томографии, а площадь поверхности моделей – больше в 88,6% (n = 31) случаев.

5. Микрофокусная конусно-лучевая компьютерная томография – более информативная методика в исследовании препаратов нижней челюсти и корней удаленных зубов до и после эндодонтического лечения, а также в присутствии металлических объектов по сравнению с мультисрезовой и конусно-лучевой компьютерными томографиями.

### **ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

1. Для сканирования препаратов зубочелюстной системы с применением отечественного микрофокусного компьютерного томографа МРКТ-04 рекомендованы параметры сканирования 92 кВ / 60 мкА / размер вокселя 20 мкм или 120 кВ / 25 мкА / размер вокселя 44 мкм для препаратов нижней челюсти и 92 кВ / 60 мкА / размер вокселя 8–20 мкм для препаратов удаленных зубов до и после эндодонтического лечения.

2. При экспериментальном исследовании препаратов нижней челюсти рекомендовано применение микрофокусной конусно-лучевой компьютерной томографии как наиболее информативной методики при визуализации микроскопических костных структур.

3. Микрофокусную конусно-лучевую компьютерную томографию

следует использовать при изучении корней удаленных зубов до и после эндодонтического лечения с целью обнаружить дополнительные корневые каналы и анастомозы, содержимое корневых каналов и продольные переломы корней, достигающие полости корневого канала, а также при исследовании результатов эндодонтического лечения и структуры пломбировочных материалов.

4. Уникальные рентгеносемиотические характеристики пломбировочных материалов по данным микрофокусной конусно-лучевой компьютерной томографии позволяют в ходе экспериментального исследования опознать содержимое корневых каналов зубов после лечения.

5. В ходе экспериментального исследования препаратов зубочелюстной системы в присутствии металлических объектов и других инородных структур высокой плотности, таких, как пломбировочные материалы, рекомендовано использование микрофокусной конусно-лучевой компьютерной томографии как наиболее информативной методики в присутствии высокоплотных инородных структур.

6. Применение мультисрезовой компьютерной томографии для изучения зубочелюстной системы нецелесообразно по причине низкой информативности методики. Возможности конусно-лучевой компьютерной томографии ограничены при исследовании микроскопических структур и высокоплотных инородных материалов в области зубочелюстной системы.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Васильев, А. Ю. Микрофокусная конусно - лучевая компьютерная томография в диагностике различных инородных материалов в корневых каналах препаратов удаленных зубов / Васильев А. Ю., Ничипор Е. А., Петровская В. В., Потрахов Н. Н., Староверов Н. Е.: Свидетельство о регистрации базы данных № 2021620403 от 04.03.2021.

2. Васильев, А. Ю. Сравнительный анализ возможностей различных видов конусно-лучевой томографии в экспериментальном исследовании корневых каналов зубов до и после заполнения инородными материалами высокой плотности

(часть 2) / Васильев А.Ю., Петровская В. В., Ничипор Е. А., Алпатова В. Г., Потрахов Н. Н., Бессонов В. Б., Староверов Н. Е., Кисельникова Л. П., Шевченко М. А., Белозерова Н. Н., Белозеров М. М. // **Радиология – практика.** – 2021. – № 2 (86). – С. 51–61.

3. Ничипор, Е. А. Идентификационные признаки эндодонтических материалов и фрагментов сломанных инструментов в каналах удаленных зубов по данным компьютерной томографии / Ничипор Е.А., Петровская В. В., Лежнев Д.А. // **Клиническая стоматология.** – 2021. – № 1 (97). – С. 35–41.

4. Ничипор, Е. А. КЛКТ и микро-КЛКТ в экспериментальном исследовании препаратов удаленных зубов до и после пломбирования / Ничипор Е.А., Петровская В. В., Васильев А. Ю. // **Российская стоматология.** – 2021. – Т. 14. – №3. – С. 61 – 62.

5. Nichipor, E. A. Microfocus cone-beam computed tomography in an experimental study of dental filling materials and metal fragments inside the root canals of extracted teeth / Nichipor E. A., Petrovskaya V. V., Alpatova V. G., Vasilyev A. Yu., Potrakhov N. N., Bessonov V. B., Staroverov N. E., Kiselnikova L. P., Shevchenko M. A., Belozerova N. N., Belozеров M. M. // *AIP Conference Proceedings.* – 2021. – V. 2356. – Article 020017.

6. Васильев, А. Ю. Сравнительный анализ возможностей различных видов конусно-лучевой томографии в экспериментальном исследовании корневых каналов зубов до и после заполнения инородными материалами высокой плотности (часть 1) / Васильев А.Ю., Петровская В. В., Ничипор Е. А., Алпатова В. Г., Потрахов Н. Н., Бессонов В. Б., Староверов Н. Е. // **Радиология – практика.** – 2020. – № 5 (83). – С. 46–53.

7. Ничипор, Е. А. Микрофокусная конусно-лучевая компьютерная томография в исследовании препаратов зубов / Ничипор Е. А., Петровская В. В., Алпатова В. Г. // *Конгресс Российского общества рентгенологов и радиологов: Сборник тезисов конференции.* – Санкт-Петербург, 2020. – С. 138–139.

8. Ничипор, Е. А. Рентгеносемиотика инородных материалов в корневых каналах препаратов удаленных зубов по данным микрофокусной конусно-лучевой

компьютерной томографии / Ничипор Е. А., Петровская В. В., Алпатова В. Г., Васильев А. Ю., Потрахов Н. Н., Бессонов В. Б., Староверов Н. Е., Кисельникова Л.П., Шевченко М. А., Белозерова Н. Н., Белозеров М. М. // VII Всероссийская научно-практическая конференция производителей рентгеновской техники: Программа и материалы конференции. – Санкт-Петербург, 2020. – С. 68–73.

9. Ничипор, Е. А. Сравнение возможностей различных методик компьютерной томографии в исследовании препаратов зубочелюстной системы / Ничипор Е. А., Петровская В. В., Алпатова В. Г. // **Лучевая диагностика и терапия.** – 2020. – № 1 (S). – С. 50–51.

10. Ничипор, Е. А. Сравнение методик конусно-лучевой компьютерной томографии в экспериментальном исследовании препаратов удаленных зубов / Ничипор Е. А. // Сборник материалов XLII (42) Итоговой научной конференции молодых ученых МГМСУ им. А.И. Евдокимова. – Москва, 2020. – С. 228–229.

11. Vasilyev, A. Y. Comparative analysis of x-ray computed tomography techniques in an experimental study of anatomical preparations of the dentofacial system./ Vasilyev A. Y., Potrakhov N. N., Bessonov V. B., Petrovskaya V. V., Alpatova V. G., Nichipor E. A. // AIP Conference Proceedings. – 2020. – V. 2250. – Article 020030.

12. Васильев, А. Ю. Анализ информативности методик рентгеновской томографии в экспериментальном исследовании препаратов зубочелюстной системы / Васильев А. Ю., Потрахов Н.Н., Бессонов В. Б., Петровская В. В., Алпатова В. Г., Ничипор Е. А. // VI Всероссийская научно-практическая конференция производителей рентгеновской техники: Программа и материалы конференции. – Санкт-Петербург, 2019. – С. 59–62.

13. Ничипор, Е. А. Сравнительный анализ информативности методик компьютерной томографии в экспериментальном исследовании препарата нижней челюсти с металлическими конструкциями / Ничипор Е. А., Петровская В. В., Алпатова В. Г. // Стоматология славянских государств: Сборник трудов XII Международной научно-практической конференции. – Белгород, 2019. – С. 261–263.

14. Ничипор, Е. А. Сравнительный анализ компьютерных томограмм при исследовании препаратов зубов и челюстей / Ничипор Е. А., Петровская В. В., Алпатова В. Г. // Сборник материалов Юбилейной конференции, посвященной 65-летию кафедры лучевой диагностики. – Москва, 2019. – С. 51.

15. Ничипор, Е. А. Применение микрофокусной конусно-лучевой компьютерной томографии в исследовании препарата нижней челюсти с металлическими конструкциями / Ничипор Е. А. // Сборник материалов XLI (41) Итоговой научной конференции молодых ученых МГМСУ им. А.И. Евдокимова. – Москва, 2019. – С. 151–152.

16. Петровская, В.В. Анализ информативности конусно - лучевой компьютерной томографии в экспериментальном исследовании препарата нижней челюсти с металлическими конструкциями / Петровская В. В., Ничипор Е. А. // Материалы VI межрегиональной научной конференции с международным участием «Байкальские встречи». Актуальные вопросы лучевой диагностики. – Иркутск, 2019. – С. 63–64.

17. Petrovskaya, V. V. Capabilities of the computed tomography in evaluation of endodontic material structure and dental treatment quality (an experimental study) / Petrovskaya V. V., Vasilyev A. Y., A. Y., Bessonov V. B. Klestova I. A., Nichipor E. A. // AIP Conference Proceedings. – 2019. – V. 2089. – Article 020016.

18. Петровская, В.В. Возможности компьютерной томографии в определении структуры эндодонтического материала и качества лечения зубов (в эксперименте) / Петровская В. В., Васильев А. Ю., Потрахов Н. Н., Грязнов А. Ю., Бессонов В. Б., Клестова И. А., Ничипор Е. А. // V Всероссийская научно-практическая конференция производителей рентгеновской техники: Программа и материалы конференции. – Санкт-Петербург, 2018. – С. 44–47.

### **СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ**

ЗЧС – зубочелюстная система

КЛКТ – конусно-лучевая компьютерная томография

МикроКЛКТ – микрофокусная конусно-лучевая компьютерная томография

МСКТ – мультисрезовая компьютерная томография



---

Подписано в печать: 19.01. 2022  
Формат А5  
Бумага офсетная. Печать цифровая.  
Тираж 100 Экз.  
Заказ №23115  
Типография ООО "Цифровичок"  
117149, г. Москва, ул. Азовская, д. 13