

DOI: 10.37988/1811-153X_2021_1_35

Е.А. Ничипор¹,
аспирант кафедры лучевой диагностики

В.В. Петровская¹,
д.м.н., доцент кафедры лучевой
диагностики

Д.А. Лежнев^{1,2},
д.м.н., профессор, зав. кафедрой лучевой
диагностики; профессор кафедры
терапевтической стоматологии

¹ МГМСУ им. А.И. Евдокимова² РМАНПО

Идентификационные признаки эндодонтических материалов и фрагментов сломанных инструментов в каналах удаленных зубов по данным компьютерной томографии

Реферат. Микрофокусная конусно-лучевая компьютерная томография (микро-КЛКТ) совмещает технологию конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ) с микрофокусной рентгеновской трубкой. Микро-КЛКТ в медицине используется в относительно небольшом количестве экспериментальных научных работ, результаты которых демонстрируют, что микро-КЛКТ — перспективная новая диагностическая методика. **Цель** данной работы — сравнительный анализ результатов исследований КЛКТ и микро-КЛКТ корней удаленных зубов до и после лечения, определение идентификационных признаков некоторых пломбировочных материалов.

Материалы и методы. В ходе работы применялись томографы «Kavo OP 3D Vision» (США) и «МРКТ-04» (Россия) для исследования 136 непролеченных и 91 эндодонтически пролеченных корней удаленных зубов. По результатам сканирований КЛКТ и микро-КЛКТ был проведен сравнительный анализ реконструкций. **Результаты и обсуждение.** С помощью микро-КЛКТ были обнаружены особенности строения непролеченных корней зубов, незаметные на КЛКТ-томограммах, такие как дополнительные каналы в апексах корней, содержащееся в корневых каналах, продольные переломы корня. По данным обеих методик компьютерной томографии были определены идентификационные признаки использованных стоматологических материалов: кальций-алюмосиликатный цемент, гуттаперчевые штифты для латеральной конденсации холодной гуттаперчи, цинкооксид-эвгенольный силер, термопластифицированная гуттаперча на пластиковом носителе, силер на основе эпоксидной смолы. Структуру материалов на микроскопическом уровне можно

было описать только по результатам микро-КЛКТ. Была проведена сравнительная оценка КЛКТ и микро-КЛКТ корней зубов, каналы которых содержали преднамеренно сломанные в ходе лечения металлические инструменты. По данным КЛКТ, присутствие металла снижало информативность реконструкций сильнее, чем по результатам микро-КЛКТ. **Заключение.** По сравнению с КЛКТ микро-КЛКТ характеризуется более высоким пространственным разрешением и четкостью изображений, менее выраженными артефактами от металла, позволяет обнаружить дополнительные корневые каналы, линии перелома и включения в полости зубов, дает возможность охарактеризовать строение пломбировочных материалов на микроскопическом уровне.

Ключевые слова: КЛКТ, микро-КЛКТ, кальций-алюмосиликатный цемент, метод латеральной конденсации холодной гуттаперчи, цинкооксид-эвгеноловая паста, термопластифицированная гуттаперча, силер на основе эпоксидной смолы

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Ничипор Е.А., Петровская В.В., Лежнев Д.А. Идентификационные признаки эндодонтических материалов и фрагментов сломанных инструментов в каналах удаленных зубов по данным компьютерной томографии. — *Клиническая стоматология*. — 2021; 1 (97): 35—41.

DOI: 10.37988/1811-153X_2021_1_35

Е.А. Nichipor¹,
postgraduate of the Radiology Department

V.V. Petrovskaya¹,
Grand PhD in Medical Sciences, associate
professor of the Radiology Department

D.A. Lezhnev^{1,2},
Grand PhD in Medical Sciences, professor
of the Radiology Department; professor of the
Therapeutic dentistry Department

¹ Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russia² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia

Radiological characteristics of endodontic materials and fragments of broken instruments in the canals of extracted teeth according to computed tomography

Abstract. Microfocus cone-beam computed tomography (micro-CBCT) combines the technology of cone beam-computed tomography (CBCT) with a microfocus X-ray tube. Micro-CBCT is used in medicine in a relatively small number of experimental scientific works, the results of which demonstrate that micro-CBCT is a promising new diagnostic technique. **The purpose** of this work is a comparative analysis of the results of CBCT and micro-CBCT studies of the roots of extracted teeth before and after endodontic treatment, identification of the radiological characteristics of endodontic materials. **Materials and methods.** Devices Kavo OP 3D Vision (USA) and “Micon”

(Russia) were used in order to scan 136 untreated and 91 endodontically treated roots of extracted teeth. A comparative analysis of the acquired CBCT and micro-CBCT reconstructions was performed. **Results and discussion.** Additional canals in the apexes of the roots, contents of the root canals and longitudinal fractures of the roots were imperceptible on the CBCT images of the untreated roots, but could be discovered with the help of micro-CBCT. The radiological characteristics of calcium-aluminosilicate cement, gutta-percha pins for lateral condensation of cold gutta-percha, zinc oxide-eugenol sealer, thermoplasticized gutta-percha on a plastic carrier, and epoxy resin-based sealer were determined for both of the computed tomography techniques. The microscopic structure of the materials could only be observed using the micro-CBCT reconstructions. A comparative analysis of the CBCT and micro-CBCT scans of the roots which contained intentionally broken metal instruments was performed. The presence of metal fragments resulted in stronger distortions on CBCT images compared to the results of micro-CBCT. **Conclusion.** Compared to CBCT, micro-CBCT is characterized by a higher spatial

resolution and clarity of images, less pronounced artifacts from metal, allows to detect additional root canals, fracture lines and inclusions in root canals, makes it possible to characterize the structure of filling materials at the microscopic level.

Key words: CBCT, micro-CBCT, calcium-aluminosilicate cement, cold lateral condensation of gutta-percha, zinc oxide eugenol paste, thermoplasticized gutta-percha, epoxy resin-based sealer

FOR CITATION:

Nichipor E.A., Petrovskaya V.V., Lezhnev D.A. Radiological characteristics of endodontic materials and fragments of broken instruments in the canals of extracted teeth according to computed tomography. — *Clinical Dentistry (Russia)*. — 2021; 1 (97): 35–41.

DOI: 10.37988/1811-153X_2021_1_35

ВВЕДЕНИЕ

Конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) в стоматологии используется для планирования и контроля терапевтических и хирургических вмешательств [1–5], в том числе для анализа строения корневых каналов зубов и оценки результатов эндодонтического лечения [6–8]. Микрофокусная конусно-лучевая компьютерная томография (микро-КЛКТ) совмещает технологию КЛКТ с применением рентгеновской трубки с фокусным пятном диаметром менее 100 мкм [9]. Современные микрофокусные томографы предназначены только для исследования неподвижных объектов ограниченных размеров, поэтому микро-КЛКТ в стоматологии применяется в относительно небольшом количестве экспериментальных научных работ [10–26]. Известны единичные случаи использования микро-КЛКТ для изучения препаратов зубочелюстной системы в России [27–35]. На основании существующих исследований можно ожидать, что микро-КЛКТ раскроет новые возможности в рентгенологическом исследовании в стоматологии.

Цель исследования — проанализировать и сравнить возможности КЛКТ и микро-КЛКТ при визуализации корней удаленных зубов, некоторых пломбировочных материалов и обломков металлических инструментов внутри корневых каналов, а также описать идентификационные признаки материалов для эндодонтического лечения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании применялись конусно-лучевой компьютерный томограф «Kavo OP 3D Vision» (Imaging Sciences International, США; 120 кВ, 5 мА, размер вокселя 125 мкм) и микрофокусный конусно-лучевой компьютерный томограф «МРКТ-04» (кафедра ЭПУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, 92–115 кВ, 40–60 мА,

размер вокселя 8,5–20,77 мкм). Исследование проводилось в два этапа.

На первом этапе были проведены КЛКТ и микро-КЛКТ исследования 136 корней у 71 удаленного зуба. На втором — инструментальная обработка и эндодонтическое лечение корней удаленных зубов. В результате после лечения корни удаленных зубов можно было разделить на группы в зависимости от содержимого корневых каналов:

- фрагменты преднамеренно сломанных стальных и никель-титановых инструментов для эндодонтического лечения (K-file, H-file, ProFile, ProTaper, каналонаполнители) — 26 корней;
- кальций-алюмосиликатный цемент (Trioхидент) — 20 корней;
- стандартная гуттаперча для латеральной конденсации холодной гуттаперчи (штифты) и цинкоксид-эвгенольный силер (Эодент) — 31 корень;
- термопластифицированная гуттаперча на пластиковом носителе в сочетании с силером на основе эпоксидной смолы (Adseal) и без силера — 8 и 6 корней соответственно.

После обработки каждый зуб был исследован при помощи КЛКТ и микро-КЛКТ. По результатам сканирования на обоих этапах были построены дву- и трехмерные реконструкции с помощью программного обеспечения Radiant и 3D Slicer и проведен их сравнительный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Коронковые части зубов были частично разрушены и не рассматривались при анализе результатов исследования.

При анализе строения 136 корней у 71 удаленного зуба с помощью КЛКТ обнаружены дополнительные корневые каналы в апикальной части у 36 (26,5%) корней, а с помощью микро-КЛКТ — у 79 (58,1%) корней.

Количество дополнительных корневых каналов в одном и том же корне, по данным КЛКТ и микро-КЛКТ, совпадало только в 9 случаях, а во всех остальных на микро-КЛКТ обнаруживалось больше дополнительных каналов, чем на КЛКТ (рис. 1).

По данным КЛКТ в 30 (14,7%) случаях в корневых каналах находились включения. По результатам микро-КЛКТ содержимое обнаружили в 99 (72,8%) корнях. В некоторых случаях это были плотные точечные включения, также на изображениях микро-КЛКТ можно было обнаружить структуры низкой плотности неправильной формы и неоднородные обызвествления, что соответствовало пульпе, которая сохранилась в корневых каналах после удаления (рис. 2).

Для дентина зубов, которые подвергались при удалении травмирующему физическому воздействию, а затем хранились в высушенном виде, характерны хрупкость, наличие мелких и крупных трещин. На КЛКТ у 29 (23,8%) корней обнаружены продольные переломы, достигавшие полости корневого канала. По данным микро-КЛКТ, такие трещины имелись у 62 (45,6%) корней (рис. 3).

На втором этапе исследования проводилась оценка томограмм, построенных по данным КЛКТ

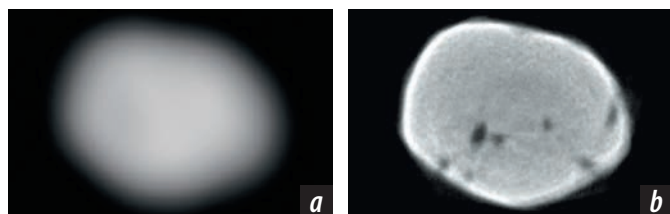


Рис. 1. Томограммы апикальной части корня удаленного зуба в аксиальной плоскости. На КЛКТ можно различить только слабозаметные очертания одного из каналов (а). На микро-КЛКТ корневой канал разделен на несколько мелких, и каждый из них заканчивается апикальным отверстием (b)

[Fig. 1. Two-dimensional reconstructions of the apex of an extracted tooth in the axial section. Only one root canal is visible on the CBCT image (a). Micro-CBCT shows several microscopic root canals (b)]

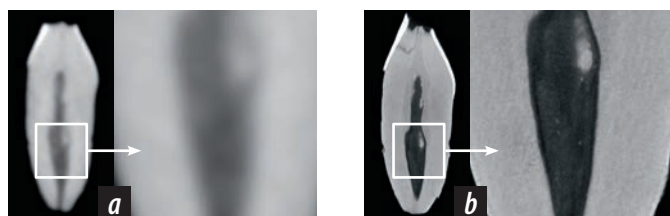


Рис. 2. Фрагменты томограмм средней части корня удаленного зуба в продольной плоскости. На КЛКТ оттенки серого в проекции корневого канала распределены неравномерно, нельзя сказать, чему соответствует данная картина: содержимому в корневом канале или шумам на изображении (а). На микро-КЛКТ видно неоднородное содержимое в корневом канале, плотность его ниже дентина, с несколькими точечными включениями (b)

[Fig. 2. Fragments of two-dimensional reconstructions of an extracted tooth in the longitudinal section. Shades of gray inside the root canal on the CBCT image are distributed unevenly, it is impossible to tell whether this should be interpreted as the contents of the canal or image noise (a). Micro-CBCT reveals heterogeneous structure inside the root canal, its density is lower than dentin, with several high-density inclusions (b)]

и микро-КЛКТ-сканирований 91 корня эндодонтически пролеченных ex vivo зубов. Получена обобщенная картина рентгенологической семиотики для каждого использованного стоматологического материала.

Кальций-алюмосиликатный цемент на изображениях КЛКТ выглядел однородным с нечеткими контурами. На микро-КЛКТ его структура была зернистой, со множеством точечных включений высокой плотности, расположенных хаотично, сливающихся в конгломераты. Очертания материала были четкими (рис. 4).

На КЛКТ корней зубов, пролеченных методом латеральной конденсации холодной гуттаперчи, отдельные гуттаперчевые штифты не определялись, если несколько штифтов располагались близко друг к другу. Силер в корневых каналах невозможно было отличить от гуттаперчи. На изображениях микро-КЛКТ были видны отдельные гуттаперчевые штифты вне зависимости от их взаимного положения и количества. Только

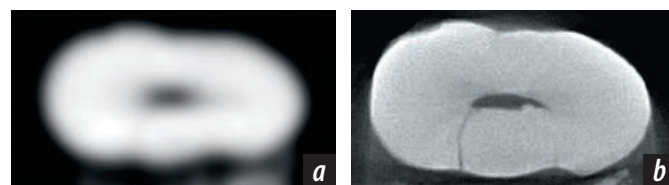


Рис. 3. Томограммы средней части корня удаленного зуба в аксиальной плоскости. На КЛКТ линия перелома, достигающая корневого канала, практически неразличима (а). На микро-КЛКТ линия перелома в поперечном сечении достигает полости канала (b)

[Fig. 3. Two-dimensional reconstructions of an extracted tooth with a fracture line in the axial section. The fracture line is practically indistinguishable on the CBCT reconstruction (a). The fracture line reaches the root canal on the micro-CBCT image (b)]

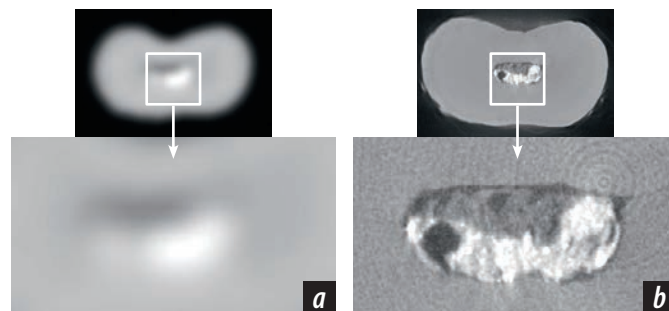


Рис. 4. Фрагменты томограмм корня зуба в аксиальной плоскости, корневой канал заполнен кальций-алюмосиликатным цементом. На КЛКТ пломбировочный материал однородный, его очертания размытые, корневой канал заполнен цементом наполовину (а). На микро-КЛКТ видна неоднородная зернистая структура пломбировочного материала, с точечными включениями высокой плотности, а также несколько пустот различной формы и размеров в толще материала и на его границе с дентином; корневой канал наполовину заполнен фрагментами дентина, которые не были удалены после механической обработки (b)

[Fig. 4. Fragments of two-dimensional reconstructions of an extracted tooth in the axial section, the root canal is filled with calcium-aluminosilicate cement. The filling material is homogeneous and its outlines are blurred on the CBCT image, the root canal is half filled with cement (a). Micro-CBCT shows the granular structure of the filling material that contains high-density inclusions, as well as several voids of various shapes and sizes; the root canal is partially filled with dentin fragments that were not removed after mechanical preparation (b)]

в плотно запломбированных каналах очертания штифтов могли сливаться, чаще всего в апикальной части. Рядом с гуттаперчевыми штифтами в корневых каналах был виден цинкоксид-эвгенольный силер — однородный, с небольшим количеством высокоплотных точечных включений (рис. 5 и 6).

На КЛКТ каналов, пролеченных термопластифицированной гуттаперчей, не были различимы пластиковый носитель, гуттаперча и силер. Содержимое каналов выглядело однородным, вызвало умеренно выраженные артефакты, очертания близлежащих структур были нечеткими. На микро-КЛКТ хорошо определялась

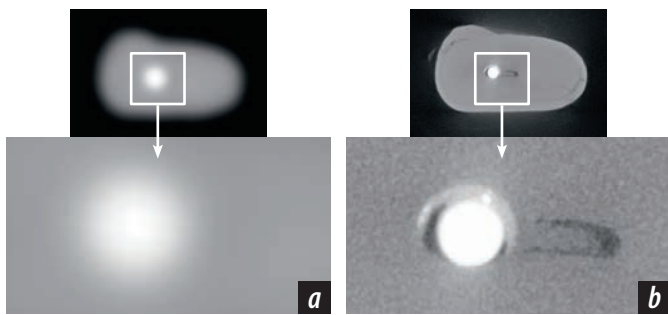


Рис. 5. Фрагменты томограмм корня зуба в аксиальной плоскости, корневой канал содержит гуттаперчевый штифт для метода латеральной конденсации холодной гуттаперчи и цинкоксид-эвгенольный силер. На КЛКТ штифт и силер не различаются, очертания содержимого корневого канала размыты (а). На микро-КЛКТ виден один гуттаперчевый штифт, силер с единичными точечными высокоплотными включениями, промежуток между штифтом, силером и дентином. Корневой канал щелевидной формы пролечен неполностью, частично заполнен фрагментами дентина, которые не были удалены после механической обработки (б)

[Fig. 5. Fragments of two-dimensional reconstructions of an extracted tooth in the axial section, the root canal contains one gutta-percha pin for lateral condensation of cold gutta-percha and a zinc oxide-eugenol sealer. The endodontic materials are not visible on the CBCT image, their outlines are blurred (a). Micro-CBCT shows a gap between the gutta-percha pin and the sealer. The sealer contains several microscopic hyperdense granules. The narrow root canal is partially filled with dentin fragments that were not removed after mechanical preparation (b)]

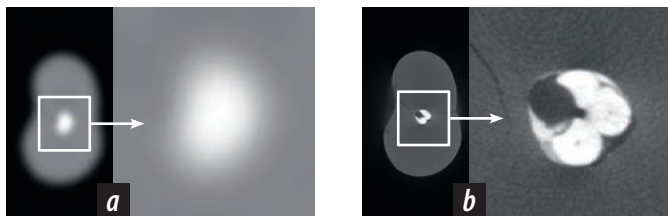


Рис. 6. Фрагменты томограмм корня зуба в аксиальной плоскости, корневой канал содержит гуттаперчевые штифты для метода латеральной конденсации холодной гуттаперчи и цинкоксид-эвгенольный силер. На КЛКТ штифты и силер не различаются, очертания содержимого корневого канала размыты (а). На микро-КЛКТ видно несколько гуттаперчевых штифтов, силер между стенками корневого канала и штифтами, канал заполнен не полностью (б)

[Fig. 6. Fragments of two-dimensional reconstructions of an extracted tooth in the axial section, the root canal contains gutta-percha cones for cold lateral condensation and a zinc oxide-eugenol sealer. The endodontic materials are not visible on the CBCT image, the outlines of the root canal are blurred (a). The sealer and the gutta-percha cones are clearly visible inside the root canal on the micro-CBCT image. The pins remain in a deformed state. Two of the pins appear to have hollow centers (b)]

граница между однородным веществом гуттаперчи и более плотным пластиковым носителем. Силер на основе эпоксидной смолы и гуттаперча визуально отличались только плотностью, поэтому на большинстве реконструкций граница между ними не определялась. Очертания окружающих структур были хорошо различимы (рис. 7).

Полости внутри пломбировочных материалов или на их границе с дентином были видны на изображениях КЛКТ только в случае выраженного неоднородного пломбирования корневых каналов. На изображениях микро-КЛКТ обнаруживались микроскопические пустоты округлой или неправильной формы внутри пломбировочных материалов, на границе между ними, а также в области контакта пломбировочных материалов и дентина даже в равномерно и непрерывно запломбированных каналах. В глубине кальций-алюмосиликатного цемента и цинкоксид-эвгенольного силера находились пустоты различной формы и размеров (см. рис. 4—6). Вдоль продольной оси гуттаперчевых штифтов для метода латеральной конденсации холодной гуттаперчи могло находиться скопление множества мелких пустот, что создавало картину полой сердцевины. При деформации гуттаперчевых штифтов в них возникали линии разрыва, деформированные механическим воздействием штифты сохраняли измененную форму (см. рис. 6). Термопластифицированная гуттаперча могла содержать единичные мелкие полости, а также отслаиваться от пластикового носителя.

Металлические фрагменты на двумерных изображениях, полученных при КЛКТ, всегда имели округлую форму в поперечном сечении, на трехмерных реконструкциях рельеф их поверхности был сглажен. Металл вызывал артефакты, из-за которых контуры прилежащих объектов были плохо различимы. На двумерных

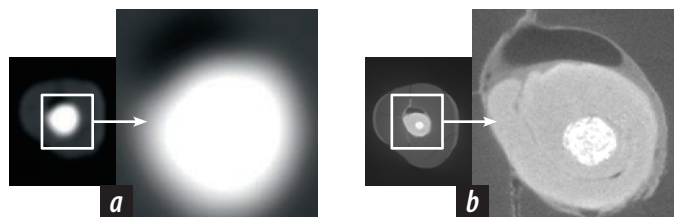


Рис. 7. Фрагменты томограмм корня зуба в аксиальной плоскости, корневой канал содержит термопластифицированную гуттаперчу на пластиковом носителе и силер на основе эпоксидной смолы. На КЛКТ гуттаперча, носитель и силер не определяют, корневой канал заполнен не полностью (а). На микро-КЛКТ видно пластиковый носитель на фоне гуттаперчи, корневой канал заполнен не полностью, между гуттаперчей и дентином слой силера. Последний распространяется в линии перелома корня зуба. Слои гуттаперчи в виде спирали после введения obturator в канал вращательным движением (б)

[Fig. 7. Fragments of two-dimensional reconstructions of an extracted tooth in the axial section, the root canal contains thermoplasticized gutta-percha on a plastic carrier and an epoxy resin-based sealer. CBCT shows a partially filled root canal, the endodontic materials inside the root canal are blurred (a). Micro-CBCT makes it possible to observe that homogenous gutta-percha is clearly divided from the plastic carrier, the root canal is partially filled, there is a layer of sealer between gutta-percha and dentin and the sealer spreads inside the fracture lines of the root; gutta-percha forms a spiral shape because the obturator was rotated inside the canal (b)]

изображениях по результатам микро-КЛКТ инструменты имели округлую, треугольную, четырехугольную форму в поперечном сечении. Артефакты от металла были ярко выражены, но при этом только мелкие низкоплотные структуры вблизи поверхности металла оказывались скрыты от наблюдения (рис. 8 и 9).

Построение трехмерных реконструкций сломанных инструментов, а также проведение измерений с ними при КЛКТ было затруднено, так как на изображении невозможно было определить границу размытых очертаний металлических фрагментов. По результатам КЛКТ визуально наблюдалось увеличение объема металла по сравнению с микро-КЛКТ. Для 26 корней зубов, каналы которых содержали только сломанные инструменты, были построены трехмерные модели фрагментов металла и подсчитан их объем. По результатам КЛКТ объем металлического фрагмента всегда был больше, чем по данным микро-КЛКТ, причем в 89,5% случаев более чем в 3 раза (см. рис. 9).

ВЫВОДЫ

Микро-КЛКТ характеризуется более высоким пространственным разрешением и четкостью получаемых изображений по сравнению с КЛКТ. Микро-КЛКТ позволяет обнаружить дополнительные корневые каналы, апикальные отверстия, линии перелома и включения в полости зубов, незаметные на изображениях КЛКТ.

КЛКТ позволяла только установить присутствие пломбирочных материалов в корневых каналах и обнаружить крупные дефекты пломбирования, в то время как с помощью микро-КЛКТ можно было различить несколько материалов внутри одного канала, охарактеризовать их структуру, обнаружить мелкие полости. Артефакты от объектов высокой плотности на микро-КЛКТ были выражены слабее, чем на КЛКТ. Микро-КЛКТ позволила установить форму поперечного сечения фрагментов сломанных инструментов и построить более детальные трехмерные модели металлических объектов.

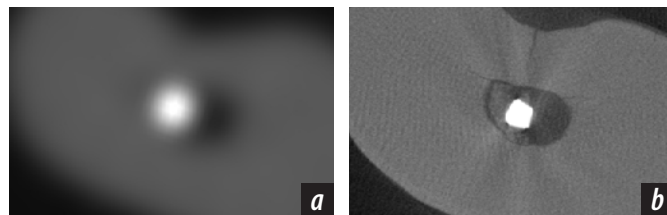


Рис. 8. Томограммы корня зуба в аксиальной плоскости, корневой канал содержит фрагмент металлического инструмента. На КЛКТ — металлический фрагмент округлой формы в поперечном сечении (а). На микро-КЛКТ — металлический фрагмент четырехугольной формы в поперечном сечении, в корневом канале также находятся фрагменты дентина, на фоне артефактов от металла видны линии перелома корня зуба (b)

[Fig. 8. Two-dimensional reconstructions of an extracted tooth in the axial section, the root canal contains a fragment of a metal instrument. The metal fragment is round on the CBCT image in the axial section (a). Micro-CBCT shows that the metal fragment is tetragonal in the axial section; fragments of dentin inside the root canal and fracture lines in the root are clearly visible against the background of metal artifacts (b)]

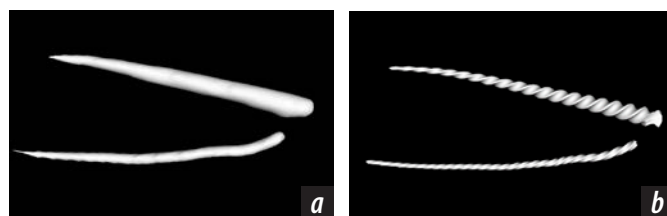


Рис. 9. Трехмерные реконструкции фрагментов металлических инструментов в корневых каналах удаленного зуба. На КЛКТ поверхность трехмерной модели сглажена (а). На микро-КЛКТ трехмерные модели фрагментов спиральной формы, видны детали на поверхности и в области поломки инструмента (b)

[Fig. 9. Three-dimensional reconstructions of two broken metal instruments inside the root canals of an extracted tooth. The CBCT the models show simplified shapes of the fragments (a). The micro-CBCT models are spiral in shape, with visible details on the surface and in the area of instrument fracture (b)]

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Поступила/Accepted on: 29.01.2021

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

1. Васильев А.Ю., Петровская В.В., Топольницкий О.З., Боровицкая Н.Н. Конусно-лучевая томография врожденных расщелин альвеолярного отростка и неба. — *Вестник рентгенологии и радиологии*. — 2011; 2: 004—006
[Vasilyev A.Yu., Petrovskaya V.V., Topolnitsky O.Z., Borovitskaya N.N. Cone-beam tomography of congenital fissures of the alveolar process and palate. — *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. — 2011; 2: 004—006 (In Russ.).]
eLIBRARY ID: 20886415
2. Нечаева Н.К., Долгалева А.А. Планирование стоматологической имплантации на верхней челюсти с помощью конусно-лучевой томографии. — *Медицинский алфавит*. — 2018; 8 (345): 44—7
[Nechaeva N.K., Dolgaleva A.A. Planning dental

implantation on upper jaw by means of cone-beam tomography. — *Medical alphabet*. — 2018; 8 (345): 44—7 (In Russ.).]

eLIBRARY ID: 35085920

3. Chogle S., Zwaitar M., Sarkis R., Saadoun M., Mecham A., Zhao Y. The Recommendation of Cone-beam Computed Tomography and Its Effect on Endodontic Diagnosis and Treatment Planning. — *J Endod*. — 2020; 46 (2): 162—8. PMID: 31837812
4. Patel S., Brown J., Pimentel T., Kelly R.D., Abella F., Durack C. Cone beam computed tomography in Endodontics — a review of the literature. — *Int Endod J*. — 2019; 52 (8): 1138—52. PMID: 30868610
5. Yeung A.W.K., Jacobs R., Bornstein M.M. Novel low-dose protocols using cone beam computed tomography in dental medicine: a review focusing on indications,

- limitations, and future possibilities. — *Clin Oral Investig.* — 2019; 23 (6): 2573—81. PMID: 31025192
6. Долгалева А.А., Нечаева Н.К., Иванчева Е.Н., Назорянский В.Ю. Применение конусно-лучевой компьютерной томографии в эндодонтии (часть I). Анализ топографии корневых каналов. — *Эндодонтия Today.* — 2017; 1: 68—71 [Dolgaleva A.A., Nechaeva N.K., Ivancheva E.N., Nagoryansky V.Yu. The use of cone beam computed tomography in endodontics (Part I). Analysis of root canal topography. — *Endodontics Today.* — 2017; 1: 68—71 (In Russ.)]. eLIBRARY ID: 29265635
7. Долгалева А.А., Нечаева Н.К., Иванчева Е.Н. Применение конусно-лучевой компьютерной томографии в эндодонтии (часть II). Диагностика и оценка одонтогенных очагов деструкции челюстной кости. — *Эндодонтия Today.* — 2017; 2: 69—73 [Dolgaleva A.A., Nechaeva N.K., Ivancheva E.N. The use of cone beam computed tomography in endodontics (Part II). Analysis of root canal topography. — *Endodontics Today.* — 2017; 2: 69—73 (In Russ.)]. eLIBRARY ID: 29969390
8. Соловьева О.А., Винниченко Ю.А., Гоман М.В., Долгалева А.А., Заборовец И.А. Применение конусно-лучевой компьютерной томографии в эндодонтии (часть III). Метод инструментальной обработки корневого канала зуба при наличии в нем отломка инструмента. — *Эндодонтия Today.* — 2017; 3: 29—33 [Solovyova O.A., Vinnichenko Yu.A., Goman M.V., Dolgaleva A.A., Zaborovets I.A. The use of cone beam computed tomography in endodontics (Part III). The instrumental method of treatment of the canal if it contains fragments tool. — *Endodontics Today.* — 2017; 3: 29—33 (In Russ.)]. eLIBRARY ID: 30043113
9. Ободовский А.В. Разработка и исследование технических средств микрофокусной рентгеновской томографии: дис. ... к.т.н. — СПб., 2018. — 135 с. [Obodovskij A.V. Development and research of technical means of microfocus x-ray tomography: PhD dissertation. — Saint-Petersburg, 2018. — 135 p. (In Russ.)].
10. Bayram H.M., Bayram E., Ocak M., Uzuner M.B., Geneci F., Celik H.H. Micro-computed tomographic evaluation of dentinal microcrack formation after using new heat-treated nickel-titanium systems. — *J Endod.* — 2017; 43 (10): 1736—9. PMID: 28756963
11. Castagnola R., Marigo L., Pecci R., Bedini R., Cordaro M., Coppola E.L., Lajolo C. Micro-CT evaluation of two different root canal filling techniques. — *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* — 2018; 22 (15): 4778—83. PMID: 30070311
12. Elenjikal M.J., Latheef A.A., Kader M.A.M., Ganapathy S., Mohamed A.B., Sainudeen S.S., Abdulla A.M., Saquib S.S. A comparative evaluation of five obturation techniques in the management of simulated internal resorptive cavities: An ex vivo study. — *J Pharm Bioallied Sci.* — 2019; 11 (Suppl 2): S450—6. PMID: 31198386
13. Irie M.S., Rabelo G.D., Spin-Neto R., Dechichi P., Borges J.S., Soares P.B.F. Use of micro-computed tomography for bone evaluation in dentistry. — *Braz Dent J.* — 2018; 29 (3): 227—38. PMID: 29972447
14. Jho W., Park J.-W., Kim E., Song M., Seo D.-G., Yang D.-K., Shin S.-J. Comparison of root canal filling quality by mineral trioxide aggregate and gutta percha cones/AH plus sealer. — *Dent Mater J.* — 2016; 35 (4): 644—50. PMID: 27477231
15. Kierklo A., Tabor Z., Pawińska M., Jaworska M. A microcomputed tomography-based comparison of root canal filling quality following different instrumentation and obturation techniques. — *Med Princ Pract.* — 2015; 24 (1): 84—91. PMID: 25359228
16. Lacerda M.F.L.S., Marceliano-Alves M.F., Pérez A.R., Provenzano J.C., Neves M.A.S., Pires F.R., Gonçalves L.S., Rôças I.N., Jr J.F.S. Cleaning and shaping oval canals with 3 instrumentation systems: A correlative micro-computed tomographic and histologic study. — *J Endod.* — 2017; 43 (11): 1878—84. PMID: 28951035
17. Leoni G.B., Versiani M.A., Silva-Sousa Y.T., Bruniera J.F.B., Pécora J.D., Sousa-Neto M.D. Ex vivo evaluation of four final irrigation protocols on the removal of hard-tissue debris from the mesial root canal system of mandibular first molars. — *Int Endod J.* — 2017; 50 (4): 398—406. PMID: 26992452
18. Meng Y., Xu J., Pradhan B., Tan B.K., Huang D., Gao Y., Zhou X. Microcomputed tomographic investigation of the trepan bur/microtube technique for the removal of fractured instruments from root canals without a dental operating microscope. — *Clin Oral Investig.* — 2020; 24 (5): 1717—25. PMID: 31346785
19. Neves A.B., Bergstrom T.G., Fonseca-Gonçalves A., Dos Santos T.M.P., Lopes R.T., de Almeida Neves A. Mineral density changes in bovine carious dentin after treatment with bioactive dental cements: a comparative micro-CT study. — *Clin Oral Investig.* — 2019; 23 (4): 1865—70. PMID: 30218229
20. Jr J.F.S., Pérez A.R., Marceliano-Alves M.F., Provenzano J.C., Silva S.G., Pires F.R., Vieira G.C.S., Rôças I.N., Alves F.R.F. What happens to unprepared root canal walls: a correlative analysis using micro-computed tomography and histology/scanning electron microscopy. — *Int Endod J.* — 2018; 51 (5): 501—8. PMID: 28196289
21. Rossi-Fedele G., Ahmed H.M.A. Assessment of root canal filling removal effectiveness using micro-computed tomography: A systematic review. — *J Endod.* — 2017; 43 (4): 520—6. PMID: 28214018
22. Suguro H., Takeichi O., Hayashi M., Okamura T., Hira A., Hirano Y., Ogiso B. Microcomputed tomographic evaluation of techniques for warm gutta-percha obturation. — *J Oral Sci.* — 2018; 60 (2): 165—169. PMID: 29657249
23. Torres F.F.E., Bosso-Martelo R., Espir C.G., Cirelli J.A., Guerreiro-Tanomaru J.M., Tanomaru-Filho M. Evaluation of physicochemical properties of root-end filling materials using conventional and Micro-CT tests. — *J Appl Oral Sci.* — 2017; 25 (4): 374—80. PMID: 28877275
24. de Faria Vasconcelos K., Dos Santos Corpus L., da Silveira B.M., Laperre K., Padovan L.E., Jacobs R., de Freitas P.H.L., Lambrichts I., Bóscolo F.N. MicroCT assessment of bone microarchitecture in implant sites reconstructed with autogenous and xenogenous grafts: a pilot study. — *Clin Oral Implants Res.* — 2017; 28 (3): 308—13. PMID: 26932194
25. Vellozo C., Albuquerque D. Microcomputed tomography studies of the effectiveness of XP-endo shaper in root canal preparation: A review of the literature. — *Scientific World Journal.* — 2019; 2019: 3570870. PMID: 31531000
26. Zuolo M.L., De-Deus G., Belladonna F.G., da Silva E.J.N.L., Lopes R.T., Souza E.M., Versiani M.A., Zaia A.A. Micro-computed tomography assessment of dentinal micro-cracks after root canal preparation with TRUShape and self-adjusting file systems. — *J Endod.* — 2017; 43 (4): 619—22. PMID: 28216274
27. Доменюк Д.А., Чуков С.З., Анфиногенова О.И., Ржепаковский И.В., Иванюта О.О. Применение компьютерной микротомографии в изучении морфоструктурных особенностей твердых тканей зубов при ранних формах кариозных поражений. — *Кубанский научный*

медицинский вестник. — 2018; 6 (25): 57—67
 [Domenyuk D.A., Chukov S.Z., Anfinogenova O.I., Rzhepakovsky I.V., Ivanyuta O.O. Application of computer microtomography in the study of morphostructural peculiarities of hard tissues of teeth in early forms of carious lesions. — *Kuban Scientific Medical Bulletin*. — 2018; 6 (25): 57—67 (In Russ.).]

eLIBRARY ID: 36643894

28. Доменюк Д.А., Давыдов Б.Н. Возможности микрокомпьютерной томографии в диагностике ранних форм кариеса жевательной поверхности постоянных моляров у детей. Часть I. — *Стоматология детского возраста и профилактика*. — 2018; 4 (67): 61—4

[Domenyuk D.A., Davydov B.N. Possibilities of microcomputer tomography in the diagnostics of early forms of caries of a chewing surface of permanent molars in children. Part I. — *Pediatric Dentistry and Profilaxis*. — 2018; 4 (67): 61—4 (In Russ.).]

eLIBRARY ID: 37027394

29. Доменюк Д.А., Давыдов Б.Н. Возможности микрокомпьютерной томографии в диагностике ранних форм кариеса жевательной поверхности постоянных моляров у детей. Часть II. — *Стоматология детского возраста и профилактика*. — 2019; 2 (70): 4—12

[Domenyuk D.A., Davydov B.N. Possibilities of microcomputer tomography in the diagnostics of early forms of caries of a chewing surface of permanent molars in children. Part II. — *Pediatric Dentistry and Profilaxis*. — 2019; 2 (70): 4—12 (In Russ.).]

eLIBRARY ID: 39135630

30. Васильев А.Ю., Петровская В.В., Хижняк А.Ю., Силягина А.С., Потрахов Н.Н. Анализ эндодонтического лечения зубов при использовании различных методов лучевой диагностики (в эксперименте). — *Биотехносфера*. — 2017; 5 (53): 57—61

[Vasilev A.Yu., Petrovskaya V.V., Khizhnyak A.Yu., Silyagina A.S., Potrakhov N.N. Analysis of endodontic treatment of teeth using various methods of radiology (in the experiment). — *Biotechnosfera*. — 2017; 5 (53): 57—61 (In Russ.).]

eLIBRARY ID: 32476933

31. Васильев А.Ю., Петровская В.В. Микро-КТ как новая перспективная технология в стоматологии. — *Лучевая диагностика и терапия*. — 2018; 1 (9): 62—3

[Vasilev A.Yu., Petrovskaya V.V. Micro-CT as a new promising technology in dentistry. — *Diagnostic Radiology and Radiotherapy*. — 2018; 1 (9): 62—3 (In Russ.).]

eLIBRARY ID: 35193507

32. Левицкая А.Д., Сюткина Е.С., Гилева О.С., Галкин С.В., Ефимов А.А., Савицкий Я.В. Оценка микроструктуры и минеральной плотности очага искусственного кариеса эмали по данным рентгеновской компьютерной микротомографии. — *Российский журнал биомеханики*. — 2018; 4 (22): 485—502

[Levitskaya A.D., Syutkina E.S., Gileva O.S., Galkin S.V., Efimov A.A., Savitskiy Ya.V. The evaluation of microstructure and mineral density of the focus of artificial enamel caries using X-ray computer microtomography. — *Russian Journal of Biomechanics*. — 2018; 4 (22): 485—502 (In Russ.).]

eLIBRARY ID: 38072900

33. Митронин А.В., Собкина Н.А., Помещикова Н.И., Дмитриева Л.А. Использование компьютерной микротомографии для оценки качества эндодонтического обработки зуба при использовании современных инструментов. — *Эндодонтия Today*. — 2018; 1: 2—26

[Mitronin A.V., Sobkina N.A., Pomeschchikova N.I., Dmitrieva L.A. Use of computer microtomography to assess the quality of endodontic tooth treatment using modern instruments. — *Endodontics Today*. — 2018; 1: 22—6 (In Russ.).]

eLIBRARY ID: 35001910

34. Петровская В.В., Потрахов Н.Н., Васильев А.Ю. Конусно-лучевая компьютерная томография в анализе эндодонтического лечения зубов (в эксперименте). — *Вестник рентгенологии и радиологии*. — 2019; 2 (100): 89—94

[Petrovskaya V.V., Potrakhov N.N., Vasil'ev A.Yu. Cone beam computed tomography in the analysis of endodontic treatment of teeth (in an experiment). — *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. — 2019; 2 (100): 89—94 (In Russ.).]

eLIBRARY ID: 38590595

35. Собкина Н.А., Помещикова Н.И., Дмитриева Л.А. Анализ качества препарирования корневых каналов зубов эндодонтическими инструментами системы ProTaper. — *Российская стоматология*. — 2018; 3 (11): 49—52

[Sobkina N.A., Pomeschchikova N.I., Dmitrieva L.A. Analysis of root canal preparation using the ProTaper instruments. — *Russian Stomatology*. — 2018; 3 (11): 49—52 (In Russ.).]

eLIBRARY ID: 36318749