

DOI: 10.18481/2077-7566-2023-19-2-5-10
УДК 616.314-073.75

ОБЛАСТИ СОВРЕМЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИИ В СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И ПРАКТИКЕ

Кошелев К. А., Бажанов Д. С., Белоусов Н. Н., Буланов В. И., Герасимов А. М.

Тверской государственной медицинской университет, г. Тверь, Россия

Аннотация

Цель. Изучение доступной профильной литературы на предмет использования конусно-лучевой компьютерной томографии в челюстно-лицевой визуализации и комбинации этого метода исследования с искусственным интеллектом для улучшения диагностики и лечения сложных стоматологических заболеваний.

Методология. Изучены данные специальной литературы с использованием научных поисковых библиотечных баз данных: Pub Med, Elibrary, Cochrane, Google Scholar.

Результаты. Применение конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ) при обследовании пациентов, нуждающихся в протезировании, позволяет получать достаточный для планирования лечения объем диагностической информации об индивидуальной анатомии зубов, костной ткани челюстей, височно-нижнечелюстного сустава и близлежащих анатомических структур в сравнении с другими рентгенологическими методами дополнительного обследования пациентов. Были оценены возможности этого вида исследования вместе с представителем системы искусственного интеллекта «Diagnocat» и проведен анализ их преимуществ. Также описан комплексный протокол планирования ортопедического лечения пациентов на основе цифрового (виртуального) моделирования и его преимущества для практикующего стоматолога-ортопеда.

Выводы. Метод КЛКТ широко распространен в современной стоматологической практике благодаря своей точности, доступности и высокой объективности. Технологии искусственного интеллекта, внедренные в процесс планирования комплексного стоматологического лечения, постепенно становятся инструментом для практикующего врача. Автоматическое распознавание зубов и диагностика деформаций лица с использованием систем искусственного интеллекта, основанных на КЛКТ, весьма вероятно, станут областью повышенного интереса в будущем. Обзор направлен на то, чтобы дать практикующим стоматологам и заинтересованным коллегам в сфере здравоохранения всестороннее представление о текущей тенденции развития искусственного интеллекта в области 3D-визуализации в стоматологической медицине.

Ключевые слова: конусно-лучевая компьютерная томография, показания для депульпации зубов, радиационный риск в стоматологии, искусственный интеллект в стоматологии, протокол ортопедического лечения

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Константин Александрович КОШЕЛЕВ ORCID ID 0000-0002-2716-6364

к.м.н., доцент кафедры ортопедической стоматологии, Тверской государственной медицинской университет, г. Тверь, Россия
koshlev1987@yandex.ru

Дмитрий Сергеевич БАЖАНОВ ORCID ID 0009-0005-4428-2825

студент 5 курса стоматологического факультета, Тверской государственной медицинской университет, г. Тверь, Россия
bazhanov1106@icloud.com

Николай Николаевич БЕЛОУСОВ ORCID ID 0000-0001-7843-3007

д.м.н., заведующий кафедрой ортопедической стоматологии, Тверской государственной медицинской университет, г. Тверь, Россия
Medbel59@mail.ru

Виталий Иванович БУЛАНОВ ORCID ID 0000-0002-8022-8894

к.м.н., доцент кафедры ортопедической стоматологии, Тверской государственной медицинской университет, г. Тверь, Россия
orttma@mail.ru

Артем Михайлович ГЕРАСИМОВ ORCID ID 0000-0002-4447-9979

ассистент кафедры ортопедической стоматологии, Тверской государственной медицинской университет, г. Тверь, Россия
orttma@mail.ru

Адрес для переписки: Константин Александрович КОШЕЛЕВ

170000, г. Тверь, ул. Советская, д. 4
+7 (904) 0044818
koshlev1987@yandex.ru

Образец цитирования:

Кошелев К. А., Бажанов Д. С., Белоусов Н. Н., Буланов В. И., Герасимов А. М.

ОБЛАСТИ СОВРЕМЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИИ В СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И ПРАКТИКЕ. Проблемы стоматологии. 2023; 2: 5-10.

© Кошелев К. А. и др., 2023

DOI: 10.18481/2077-7566-2023-19-2-5-10

Поступила 22.05.2023. Принята к печати 15.06.2023

DOI: 10.18481/2077-7566-2023-19-2-5-10

MODERN APPLICATIONS AND CAPABILITIES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR 3D VISUALIZATION IN DENTAL RESEARCH AND PRACTICE

Koshelev K.A., Bazhanov D.S., Bulanov V.I., Gerasimov A.M.

Tver State Medical University, Tver, Russia

Annotation

The aim of study. Study the available specialized literature on the use of CBCT in maxillofacial imaging and the combination of this research method with artificial intelligence to improve the diagnosis and treatment of complex dental diseases.

Methodology. The data of special literature were studied using scientific search library databases: Pub Med, Elibrary, Cochrane, Google Scholar.

Results. The use of cone-beam computed tomography (CBCT) in the examination of patients in need of prosthetics allows to obtain a large amount of diagnostic information about the condition of hard tissues of teeth, bone tissue of jaws, temporomandibular joint and nearby anatomical structures in comparison with other radiological methods of additional examination of patients. The possibilities of this type of research were evaluated together with a representative of the «Diagnocat» artificial intelligence system and an analysis of its advantages was carried out. It also describes a comprehensive protocol for planning orthopedic treatment of patients based on digital (virtual) modeling and its advantages for a practicing orthopedic dentist.

Conclusions. The CBCT method is widely used in modern dental practice due to its accuracy, accessibility and high objectivity. Artificial intelligence technologies introduced into the planning process of complex dental treatment are gradually becoming a tool for the practitioner. Automatic recognition of teeth and diagnostics of facial deformities using artificial intelligence systems based on CBCT are very likely to become an area of increased interest in the future. The review is aimed at giving practicing dentists and interested colleagues in the field of healthcare a comprehensive understanding of the current trend in the development of artificial intelligence in the field of 3D visualization in dental medicine.

Keywords: cone-beam computed tomography, indications for dental depulcation, radiation risk in dentistry, artificial intelligence in dentistry, protocol of orthopedic treatment

The authors declare no conflict of interest.

Konstantin A. KOSHELEV ORCID ID 0000-0002-2716-6364

PhD in Medical Sciences; Associate Professor of the Department of Orthopedic Dentistry, Tver State Medical University, Tver, Russia
koshelev1987@yandex.ru

Dmitry S. BAZHANOV ORCID ID 0009-0005-4428-2825

5th year student of the Faculty of Dentistry, Tver State Medical University, Tver, Russia
bazhanov1106@icloud.com

Nikolay N. BELOUSOV ORCID ID 0000-0001-7843-3007

Grand PhD in Medical sciences, Professor, Head of the Department of Orthopedic Dentistry, Tver State Medical University, Tver, Russia
Medbel59@mail.ru

Vitaly I. BULANOV ORCID ID 0000-0002-8022-8894

PhD in Medical sciences, Associate Professor of the Department of Orthopedic Dentistry, Tver State Medical University, Tver, Russia
orttma@mail.ru

Artem M. GERASIMOV ORCID ID 0000-0002-4447-9979

Assistant of the Department of Orthopedic Dentistry, Tver State Medical University, Tver, Russia
orttma@mail.ru

Correspondence address: Konstantin A. KOSHELEV

170000, Tver; Sovetskaya str., 4
+7 (904) 0044818
koshelev1987@yandex.ru

For citation:

Koshelev K.A., Bazhanov D.S., Bulanov V.I., Gerasimov A.M.

MODERN APPLICATIONS AND CAPABILITIES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR 3D VISUALIZATION IN DENTAL RESEARCH AND PRACTICE.

Actual problems in dentistry. 2023; 2: 5-10. (In Russ.)

© Koshelev K.A. et al., 2023

DOI: 10.18481/2077-7566-2023-19-2-5-10

Received 22.05.2023. Accepted 15.06.2023

Введение

С момента открытия рентгеновских лучей стоматологическая радиология играет существенную роль в качестве необходимого диагностического дополнения к клиническому обследованию стоматологических пациентов при планировании лечения и прогностической оценке стоматологических заболеваний. Конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) произвела революцию в визуализации челюстно-лицевой области благодаря широкому спектру ее применения в различных областях стоматологии, начиная от диагностики и заканчивая планированием лечения. Однако отсутствие надлежащего образования и осведомленности среди стоматологов приводит или к отсутствию назначения данной процедуры в ситуациях, где это необходимо, или к нецелесообразным чрезмерным направлениям на компьютерную томографию [1, 2].

Концепция искусственного интеллекта (ИИ) и его место в медицине были обсуждаемой темой в течение последних нескольких лет. Действительно, существует множество вопросов и проблем, связанных с кажущимся неизбежным внедрением искусственного интеллекта практически во все аспекты медицинской практики. Отрасль медицины, которая первой приходит на ум при размышлении об ИИ, — это радиология.

Радиология, уже являющаяся в высшей степени оцифрованной и компьютеризированной специальностью, может стать одной из первых специальностей, которая получит преимущество или, как опасаются некоторые, будет вытеснена искусственным интеллектом. По мере развития этой области тестируются все более инновационные и интересные технологии искусственного интеллекта; один из таких алгоритмов использует роевой интеллект для повышения эффективности врачей-стоматологов [3]. Машинное обучение является ключевым компонентом искусственного интеллекта и обычно применяется для разработки систем искусственного интеллекта, основанных на изображениях. Ожидается, что, благодаря синергизму между стоматологами и используемой медицинской системе искусственного интеллекта, будет достигнута повышенная эффективность работы и более точные результаты в отношении окончательного диагноза различных заболеваний [4, 5].

Цель исследования

Изучение доступной профильной литературы на предмет использования КЛКТ в челюстно-лицевой визуализации и комбинации этого метода исследования с искусственным интеллектом для улучшения диагностики и лечения сложных стоматологических заболеваний.

Методология

Изучены данные специальной литературы с использованием научных поисковых библиотечных баз данных: Pub Med, Elibrary, Cochrane, Google Scholar.

Результаты исследований

Рентгенологическое обследование является неотъемлемой частью ведения пациентов в стоматологии. Оно часто используется для дополнения и облегчения диагностики патологии, связанной с зубами и прилегающими структурами [6–9]. Конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) была предложена для получения изображений челюстно-лицевой области [10, 11] в течение последнего десятилетия и в настоящее время становится все более популярной для такого использования. Это дает неоспоримые преимущества, включая более низкие дозы облучения по сравнению с медицинской компьютерной томографией (КТ), а также потенциал импорта и экспорта индивидуальных цифровых изображений и коммуникаций в медицине (DICOM) и восстановленных данных без наложений для других применений [12–15]. КЛКТ может предоставлять трехмерные изображения высокого разрешения. Представляется возможность оценить объемные (3D) изображения без искажений и наложения костей и других зубных структур, что невозможно при контактной рентгенографии [16, 17].

В нескольких исследованиях сравнивалась диагностическая точность КЛКТ с обычной и цифровой контактной прицельной рентгенографией и ортопантограммами [18–22]. Было доказано, что КЛКТ значительно увеличивает вероятность выявления труднодоступных пространств корневых каналов зуба и периапикальных областей для оценки стоматологической патологии по сравнению с обычной визуализацией [23–25]. Это говорит о том, что КЛКТ дает возможность более детально обследовать периапикальные поражения костей и обеспечивает повышенную точность диагностики, планирования лечения и, следовательно, прогнозирование исходов. Эти и другие возможности наряду с расширением доступа стоматологов к визуализации КЛКТ позволяют перейти от 2D к 3D-визуализации в повседневной стоматологической практике [18–25].

В литературе имеется ограниченное количество работ, изучающих знания стоматологов по современной зубочелюстно-лицевой визуализации и отношение к ней. В литературе имеется недостаток информации относительно возможностей функционала КЛКТ [26, 27]. Отмечено, что изучение КЛКТ должно занимать больше времени в учебной программе медицинских вузов [28]. Доктор Редди и др. [28] в своей работе определили очень низкую осведомленность стоматологов о применении КЛКТ, что может быть истолковано как недостаток опыта в этой области. Были разработаны автоматизированные системы для оказания помощи в медицинской и стоматологической рентген-диагностике [29–32].

Наряду с расширением применения КЛКТ, эффекты, связанные с излучением при визуализации, вызывают опасения по поводу ее использования в стоматологии.

КЛКТ связана с более высокой дозой облучения по сравнению с ортопантомографией и внутриротовой контактной рентгенографией, но с более низкой дозой по сравнению с обычной томографией [33–35]. Поэтому проводится оценка радиационного риска. Эффективная доза, рекомендованная международной комиссией по радиологической защите, должна поддерживаться в соответствии с принципами ALARA (на разумно достижимом низком уровне) и ALADA (на низком уровне, приемлемом с диагностической точки зрения). Следует также отметить, что необходимость проведения КЛКТ-сканирования должна быть ориентирована на показания и специфику пациента [34].

Нейронные сети (CNN) чаще всего используются для обнаружения объектов и сегментации. Существует несколько доступных исследований с использованием методов глубокого обучения, включая CNNs, для оказания помощи клиницистам в стоматологии. CNNs используются клинически для выявления апикального поражения [35], выявления переломов корня [36], выявления заболеваний пародонта [37], кистозных поражений [38, 39], выявления кариеса [40], определения стадии развития нижнего третьего моляра [42], выявления ретенции зубов, диагностики поражения челюсти [44] и выявления других патологий [43, 45]. Искусственный интеллект (ИИ) имеет определенную ценность и является инструментом поддержки принятия решений для такой медицинской визуализации.

Существует несколько важнейших факторов успеха, позволяющих измерить разрыв между фактическими показателями и ожидаемыми достижениями лечения в стоматологии. Системы искусственного интеллекта должны применяться в реальных ситуациях и быть разработаны для клинической оценки и внедрения. Кроме того, важной частью разработки и интеграции этих систем искусственного интеллекта является то, что их функциональность (простота использования, скорость и точность) достигает или превосходит опыт и ожидания клиницистов.

В одном из исследований [46] новая система искусственного интеллекта, основанная на методах глубокого обучения, была протестирована на диагностические возможности. Были оценены клинические показатели, точность и время, необходимое для постановки диагноза. Эффективность КЛКТ-визуализации в режиме реального времени оценивалась при диагностике анатомических ориентиров и патологий. Гипотеза этого исследования заключалась в том, что нет существенной разницы между группами с помощью и без помощи, использующими предложенную систему искусственного интеллекта (Diagnocat) для визуализации КЛКТ и по классической схеме. Статистические тесты показали, что группа, которой помогал Diagnocat, имела более высокие показатели определения особенностей анатомии зубов и различных патологий по сравнению группой без него.

Также существуют системы искусственного интеллекта, которые позволяют оценить положение культовых штифтовых вкладок, выявить причины гингивита или периодонтита на месте установленной ортопедической конструкции, диагностировать патологию ВНЧС (морфологические и функциональные нарушения), оценить качество проведенного эндодонтического лечения и исключить наличие хронических очагов воспаления при планировании ортопедической конструкции [47].

Если говорить о разделе эндодонтии, то малая информативность радиовизиографии обусловлена экранирующим эффектом компактных костных пластинок челюсти на плоскостных рентгенограммах, чего нет при томографии, показывающей послойные срезы структуры кости в трех проекциях. КЛКТ позволяет до начала манипуляций оценить важные особенности строения корневых каналов.

Результаты исследования [48] показали, что форму поперечного сечения канала, искривленность хода канала не в одной, а в двух плоскостях, дельтовидные разветвления основного канала и его мелкие боковые ответвления можно определить только на КЛКТ. На радиовизиограмме зуба эти параметры не могли быть выявлены.

В 30 обследованных зубах количество выявленных корней — 90. В медиальном щечном корне в 24 зубах (из 30 обследованных) выявлено 2 корневых канала, что соответствует 80%. В 16 случаях, когда в медиальном щечном корне 2 канала, они имеют такой тип строения, что соединяются в один на уровне апикальной трети длины корня (66,6%). Данные оценки анатомического строения зуба — по данным рентгенографии и при анатомическом исследовании — показали сопоставимые результаты. Практически полное совпадение показывает сравнение КЛКТ и изучение шлифов зубов [48].

В настоящее время распространен комплексный протокол планирования ортопедического лечения пациентов на основе цифрового (виртуального) моделирования. Целью такого протокола является создание ортопедической конструкции, оптимальной по окклюзионным, функциональным и эстетическим характеристикам. В начале работы, на диагностическом этапе, создается прототип такой реставрации. Затем в специальной программе-проектировщике под уже известные параметры реставрации виртуально устанавливаются имплантаты. Далее создается навигационный хирургический шаблон для наиболее точной установки имплантатов в определенную заранее позицию. Примерами программ-проектировщиков являются coDiagnostiX (Straumann), NobelClinician (Nobel Biocare), Simplant (DentsplySirona) и др. Большинство таких программ дает возможность 3D-реконструкции челюстей, контрастной визуализации нижнечелюстного канала, библиотеку реалистичных имплантатов различного диаметра и длины.

Основные этапы протокола планирования протезирования включают первичную консультацию и диагностику: получение данных для планирования ортопедической конструкции, планирование ортопедической конструкции, определение протетических и эстетических параметров реставрации, изготовление рентгеноконтрастного прототипа реставрации (шаблона для сканирования). Рентгеноконтрастные прототипы могут отличаться по конструкции в зависимости от клинической ситуации [49].

Д. Сармент рекомендует изготавливать рентгеноконтрастные зубы из акрила с содержанием 30% сульфата бария, а при необходимости визуализировать уровень мягких тканей, применять базисную пластмассу с содержанием 10% сульфата бария [49, 50]. Также можно применять стандартные и индивидуализируемые рентгеноконтрастные маркеры. Если у пациента имеется съемная конструкция, удовлетворяющая окклюзионным и эстетическим требованиям, можно изготовить стереолитографический дубликат этого протеза и установить в него маркеры для проведения КЛКТ. Следующий этап — проведение конусно-лучевой компьютерной томографии с установленным рентгеноконтрастным прототипом. Далее — изучение полученных данных в программно-проектировщике, где, кроме данных КЛКТ, могут быть использованы сканы исходной анатомии, полученные интраоральным или лабораторным сканированием, и сканы прототипа реставрации (диагностической постановки). Виртуальное планирование операции имплантации проводится с учетом требований и особенностей ортопедической конструкции (тип соединения, вид абатментов, тип фиксации и т. д.), выбираются форма, длина и диаметр имплантата, его положение. В программе имеется библиотека реалистичных имплантатов и абатментов. Выбор таких имплантатов определяется производителем данной программы. Позиционирование имплантата должно планироваться таким образом, чтобы исключить дефицит места для размещения ортопедической конструкции, а шахты фиксирующих винтов не нарушали эстетику реставрации. На данном этапе может быть принято решение о необходимости проведения костнопластических операций, пластики мягких тканей [51].

Таким образом, у команды специалистов должен быть диагностический и конструирующий инструмент, предоставляющий необходимые возможности для создания прогнозируемого успешного результата реабилитации.

Литература/References

1. He J., Baxter S.L., Xu J., Xu J., Zhou X., Zhang K. The practical implementation of artificial intelligence technologies in medicine // *Journal of the Nat Med.* – 2019;25(1):30-36. DOI: 10.1038/s41591-018-0307-0
2. Hosny A., Parmar C., Quackenbush J., Schwartz L.H., Aerts H.J.W.L. Artificial intelligence in radiology // *Journal of the Nat Rev Cancer.* – 2018;18(8):500-510. DOI: 10.1038/s41568-018-0016-5
3. Fazal M.I., Patel M.E., Tye J., Gupta Y. The past, present and future role of artificial intelligence in imaging // *Journal of the European Radiology.* – 2018;105:246-250. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.06.020>
4. Chen Y.W., Stanley K., Att W. Artificial intelligence in dentistry: Current applications and future perspectives // *Quintessence Int.* – 2020;51:248-257. DOI: 10.3290/j.qi.a43952
5. Kim T., Cho Y., Kim D., Chang M., Kim Y.J. Tooth segmentation of 3D scan data using generative adversarial networks // *Journal Applied Sciences.* – 2020;10:490. <https://doi.org/10.3390/app10020490>

Отдельно стоит отметить применение КЛКТ для оценки состояния плотности костной ткани. Денситометрическое изучение томограмм, судя по данным литературы, актуально проводить лишь у пациентов со значительными изменениями в костной ткани [52, 53] или при недоступности мультиспиральной томографии, которая больше подходит для этих целей, но не так доступна.

Заключение

Наиболее точным и детальным из доступных рядовому практикующему стоматологу методов визуализации структуры зубов и челюстей является КЛКТ. На сегодняшний день среди практикующих стоматологов существует запрос на точный и доступный диагностический инструмент, который позволил бы ускорить и оптимизировать методику работу с томограммами. Комбинация КЛКТ и ИИ может стать этим инструментом. При нынешнем состоянии искусственный интеллект по-прежнему в большинстве случаев является вспомогательным средством, используемым для оказания помощи, и не способен заменить врачей. За последние десятилетия в стоматологию внедрено множество технологий, содержащих, по крайней мере, некоторые аспекты искусственного интеллекта. Хотя большинство из них не соответствовали человеческому уровню суждений, опыт, накопленный в результате их использования, был вложен в создание новых, более мощных систем и этот процесс продолжается. Проще говоря, в наших отношениях с искусственным интеллектом мы остаемся учителями. Мы те, кто создает и тестирует их. Согласно прогнозам, со временем ИИ превзойдет человека по результативности, но когда именно наступит этот момент и случится ли такое вообще, утверждать однозначно никто из экспертов не берется.

Конечным показателем успеха как для ИИ, так и для людей остается качество лечения пациентов. Несмотря на все захватывающие достижения, которые продолжает предлагать настоящее, будущее искусственного интеллекта в стоматологии остается обширным и полным потенциальных прорывов и тупиковых ситуаций. В обозримой перспективе развитием технологий ИИ в стоматологии видится способность определять показания к депульпации зубов при необходимости их препарирования и расширение функционала уже существующих элементов.

6. Chan M., Dadul T., Langlais R., Russell D., Ahmad M. Accuracy of extraoral bite-wing radiography in detecting proximal caries and crestal bone loss. // Journal of the American Dental Association. – 2018;149(1):51-58. <https://doi.org/10.1016/j.adaj.2017.08.032>
7. Воклулова Ю.А. Разработка и внедрение цифровых технологий при ортопедическом лечении с применением несъемных протезов зубов : дис. ... к.м.н. Нижний Новгород, 2017:22. [Yu.A. Vokulova. Development and implementation of digital technologies in orthopedic treatment with the use of fixed dentures : master's thesis. Nizhny Novgorod, 2017:22. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30440885>
8. Yoon D.C., Mol A., Benn D.K., Benavides E. Digital radiographic image processing and analysis // Journal of Dental Clinics of North America. – 2018;62:341-359. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2018.03.001>
9. Jain S., Choudhary K., Nagi R., Shukla S., Kaur N., Grover D. New evolution of cone-beam computed tomography in dentistry: Combining digital technologies // Journal of Imaging Science Dentistry. – 2019;49:179-190. <https://doi.org/10.5624/isd.2019.49.3.179>
10. Hayashi T., Arai Y., Chikui T., Hayashi-Sakai S., Honda K., Indo H. et al. Clinical guidelines for dental cone-beam computed tomography // Journal of Oral Radiology. – 2018;34:89-104. <https://doi.org/10.1007/s11282-018-0314-3>
11. Beam A.L., Kohane I.S. Big Data and Machine Learning in Health Care // Journal of the American Medical Association. – 2018;319(13):1317-1318. DOI: 10.1001/jama.2017.18391
12. Stiller W. Basics of iterative reconstruction methods in computed tomography: a vendor-independent overview // European Journal of Radiology. – 2018;109:147-154. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.10.025>
13. Bayraktar I.S. et al. Cone beam computed tomography and ultrasonography imaging of benign intraosseous jaw lesion: A prospective radiopathological study // Journal of Clinical Oral Investigations. – 2018;22(3):1531-1539. <https://doi.org/10.1007/s00784-017-2257-1>
14. Orhan K., Bayraktar I.S., Ezhov M., Kravtsov A., Ozyurek T. Evaluation of artificial intelligence for detecting periapical pathosis on cone-beam computed tomography scans // Journal of International Endodontic. – 2020;53(5):680-689. <https://doi.org/10.1111/iej.13265>
15. Estrela C., Bueno M.R., Leles C.R., Azevedo B., Azevedo J.R. Accuracy of cone beam computed tomography and panoramic and periapical radiography for detection of apical periodontitis // Journal of Endodontics. – 2018;34(3):273-279. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.11.023>
16. Niebler S., Schömer E., Tjaden H., Schwanecke U., Schulze R. Projection-based improvement of 3D reconstructions from motion-impaired dental cone beam CT data // Med Phys. – 2019;46:4470-4480. <https://doi.org/10.1002/mp.v46.1010.1002/mp.13731>
17. Kalra M.K. Artificial intelligence in image reconstruction: The change is here // Journal of Medical Physics. – 2020;79:113-125. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2020.11.012>
18. Ramis-Alario A. et al. Comparison of diagnostic accuracy between periapical and panoramic radiographs and cone beam computed tomography in measuring the periapical area of teeth scheduled for periapical surgery. A cross-sectional study // Journal of Clinical and Experimental Dentistry. – 2019;11(8):732-738. <https://doi.org/10.4317/jced.55986>
19. Sheth N.M., Zbijewski W., Jacobson M.W., Abiola G., Kleinszig G., Vogt S. et al. Mobile C-Arm with a CMOS detector: Technical assessment of fluoroscopy and Cone-Beam CT imaging performance // Journal of Medical Physics. – 2018;45:5420-5436. <https://doi.org/10.1002/mp.13244>
20. Santaella G.M., Wenzel A., Haiter-Neto F., Rosalen P.L., Spin-Neto R. Impact of movement and motion-artefact correction on image quality and interpretability in CBCT units with aligned and lateral-offset detectors // Journal of Dentomaxillofacial Radiology. – 2020;49:3-10. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20190240>
21. Mutalik S., Tadinada A., Molina M.R., Sinisterra A., Lurie A. Effective doses of dental cone beam computed tomography: effect of 360-degree versus 180-degree rotation angles // Journal of Oral Surgery. – 2020;130:433-446. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2020.04.008>
22. 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 // Journal of Clinical Oral Investigations. – 2019;23:2573-2581. <https://doi.org/10.1007/s00784-019-02907-y>
23. Siiskonen T., Gallagher A., Ciraj-Bjelac O., Novak L., Sans Merce M., Farah J. et al. A European perspective on Dental Cone Beam Computed Tomography (CBCT) systems with a focus on optimisation utilising DRLs (Diagnostic Reference Levels) // Journal Radiological Protection. – 2021;41(2):3-5. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/abdd05>
24. Mah E., Ritenour E.R., Yao H. A review of dental cone-beam CT dose conversion coefficients // Journal Dentomaxillofacial Radiology. – 2021;50:3-8. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20200225>
25. Weiss 2nd, R., Read-Fuller A. Cone Beam Computed Tomography in Oral and Maxillofacial Surgery: An Evidence-Based Review // Dentistry Journal (Basel). – 2019;7:52. <https://doi.org/10.3390/dj7020052>
26. Beganović A., Ciraj-Bjelac O., Dyakov I., Gershan V., Kralik I., Milatović A. et al. IAEA survey of dental cone beam computed tomography practice and related patient exposure in nine Central and Eastern European countries // Dentomaxillofacial Radiology. – 2020;49:3-12. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20190157>
27. Deleu M., Dagassan D., Berg I., Bize J., Dula K., Lenoir V. et al. Establishment of national diagnostic reference levels in dental cone beam computed tomography in Switzerland // Journal Dentomaxillofacial Radiology. – 2020;49:2-6. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20190468>
28. Reddy R.S. et al. Knowledge and attitude of dental fraternity towards cone beam computed tomography in south India - A questionnaire study // Indian Journal of Dental Reseach – 2012;4:88-94. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2012.10.003>
29. Hung K., Montalvao C., Tanaka R., Kawai T., Bornstein M.M. The use and performance of artificial intelligence applications in dental and maxillofacial radiology: A systematic review // Journal Dentomaxillofacial Radiology. – 2020;49(1):5-10. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20190107>
30. American Dental Association Council on Scientific Affairs. The use of cone-beam computed tomography in dentistry: an advisory statement from the American Dental Association Council on Scientific Affairs // Journal of the American Dental Association. – 2012;143:899-992. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2012.0295>
31. Hosny A., Parmar C., Quackenbush J., Schwartz L.H., Aerts H. J. Artificial intelligence in radiology // Journal of Nature Reviews Cancer. – 2018;18(8):500-510. <https://doi.org/10.1038/s41568-018-0016-5>
32. Chen H. et al. A deep learning approach to automatic teeth detection and numbering based on object detection in dental periapical films // Journal of Scientific Reports. – 2019;9(1):1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40414-y>
33. Kim I.H., Singer S.R., Mupparapu M. Review of cone beam computed tomography guidelines in North America // Quintessence International Publishing Group. – 2019;50:136-145. <https://doi.org/10.3290/j.qi.a41332>
34. Oenning A.C. et al. Cone-beam CT in paediatric dentistry: DIMITRA project position statement // Journal of Pediatric Radiology. – 2018;48(3):308-316. <https://doi.org/10.1007/s00247-017-4012-9>
35. Horner K. et al. Diagnostic efficacy of cone beam computed tomography in paediatric dentistry: A systematic review // Journal of European Archives of Paediatric Dentistry. – 2020;21(4):407-426. <https://doi.org/10.1007/s40368-019-00504-x>
36. Ekert T. et al. Deep learning for the radiographic detection of apical lesions // Journal of Endodontics. – 2019;45(7):917-922. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.03.016>
37. Fukuda M. et al. Evaluation of an artificial intelligence system for detecting vertical root fracture on panoramic radiography // Journal of Oral Radiology. – 2019;36(4):337-343. <https://doi.org/10.1007/s11282-019-00409-x>
38. Krois J. et al. Deep learning for the radiographic detection of periodontal bone loss // Journal of Scientific Reports. – 2019;9(1):8495. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44839-3>
39. Lee J.H., Kim D.H., Jeong S.N. Diagnosis of cystic lesions using panoramic and cone beam computed tomographic images based on deep learning neural network // Journal of Oral Diseases. – 2020;26(1):152-158. <https://doi.org/10.1111/odi.13223>
40. Lee J.H., Kim D.H., Jeong S.N., Choi S.H. Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm // Journal of Dental Research. – 2018;77:106-111. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2018.07.015>
41. Merdieto Boedi R. et al. Effect of lower third molar segmentations on automated tooth development staging using a convolutional neural network // Journal of Forensic Sciences. – 2020;65(2):481-486. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14182>
42. Matzen L.H., Berkhout E. Cone beam CT imaging of the mandibular third molar: a position paper prepared by the European Academy of Dentomaxillofacial Radiology (EADMFR) // Journal of Dentomaxillofacial Radiology. – 2019;48:2-5. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20190039>
43. Hayashi T., Arai Y., Chikui T., Hayashi-Sakai S., Honda K., Indo H. et al. Clinical guidelines for dental cone-beam computed tomography // Journal Oral Radiology. – 2018;34:89-104. <https://doi.org/10.1007/s11282-018-0314-3>
44. Poedjastotii W., Suebnukam S. Application of convolutional neural network in the diagnosis of jaw tumors // Journal of Healthcare Informatics Research – 2018;24(3):236-241. <https://doi.org/10.4258/hir.2018.24.3.236>
45. Schwendicke F., Golla T., Dreher M., Krois J. Convolutional neural networks for dental image diagnostics: A scoping review // Journal Dentistry. – 2019;91:2-3. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2019.103226>
46. Ezhov M., Gusarev M., Golitsyna M., Julian M. Yates, Kushnerev E., Tamimi D., Scil Aksoy, Shumilov E., Alex Sanders, Kaan Orhan. Clinically applicable artificial intelligence system for dental diagnosis with CBCT // Scientific Reports. – 2022;11(1):2-15. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94093-9>
47. Nasseh I., Al-Rawi W. Cone beam computed tomography // Journal of Dental Clinics North America. – 2018;62:361-391. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2018.03.002>
48. Батюков Н.М., Прохвятилов О.Г., Чибисова М.А. Применение конусно-лучевой компьютерной томографии на этапах ортопедического лечения. Институт Стоматологии. 2020;1(86):34-36. [N.M. Batyukov, O.G. Prokhrvatilov, M.A. Chibisova. The use of cone-beam computed tomography at the stages of orthopedic treatment. Institute of Dentistry. 2020;1(86):34-36. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=43932821>
49. Sarment D., Berning J.A., Snyder C.J., Hetzel S. Analysis of the Anatomic Relationship Between the Mandibular First Molar Roots and Mandibular Canal Using Cone-Beam Computed-Tomography in 101 Dogs // Frontiers in Veterinary Science. – 2020;6:485-488. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00485>
50. Weiss 2nd, R., Read-Fuller A. Cone Beam Computed Tomography in Oral and Maxillofacial Surgery: An Evidence-Based Review // Dentistry Journal (Basel). – 2019;7:52. <https://doi.org/10.3390/dj7020052>
51. Ranjan T., Gangaiah M., Chaubey A.K., Wadhwa I., Nischal K. Implant and prosthetic planning using cone beam computed tomography and radiographic markers for full mouth-fixed implant-supported prosthesis // Journal of Dental Implants. – 2018;8(1):37-39. DOI:10.4103/jdi.jdi_5_18
52. Коселев К.А., Белоусов Н.Н., Баранов И.П., Никоноров В.И. Изучение встречаемости осложнений стоматологического ортопедического лечения у пациентов с сахарным диабетом. Проблемы стоматологии. 2020;2(16):101-107. [K.A. Koshelev, N.N. Belousov, I.P. Baranov, V.I. Nikonorov. Study of the occurrence of complications of dental orthopedic treatment in patients with diabetes mellitus. Actual problems in dentistry. 2020;2(16):101-107. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=4783714>
53. Коселев К.А., Белоусов Н.Н., Соколова И.В., Соколов Д.О. Прогнозирование сроков пользования различных видов зубных протезов у пациентов с гипертонической болезнью. Проблемы стоматологии. 2020;1(16):143-148. [K.A. Koshelev, N.N. Belousov, I.V. Sokolova, D.O. Sokolov. Forecasting the terms of use of various types of dentures in patients with hypertension. Actual problems in dentistry. 2020;1(16):143-148. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=42817264>