

DOI: 10.18481/2077-7566-22-18-1-78-87
УДК: 616.31

ОБРАБОТКА КЛКТ-ДАННЫХ ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ КАРИЕСА И ЕГО ОСЛОЖНЕНИЙ

Хабадзе З. С.¹, Макеева И. М.², Морданов О. С.¹, Назарова Д. А.¹

¹ Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия

² Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова, г. Москва, Россия

Аннотация

За последние несколько лет технологии искусственного интеллекта (ИИ) стали активно применяться во многих разделах медицины, в том числе в стоматологии.

Цель исследования — определить диагностическую ценность ИИ в выявлении кариеса и его осложнений по данным конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ) в сопоставлении с клиническим обследованием.

Материалы и методы. КЛКТ-изображения 15 пациентов с кариозными и периодонтальными поражениями были проанализированы опытным врачом-стоматологом, имеющим специализацию в области рентгенологии, и программным обеспечением Diagnocat AI. Также врачом-стоматологом был проведен визуальный осмотр данных пациентов.

Результаты. Больше всего контактных кариесов было определено с помощью ИИ ($n = 20$), а окклюзионных кариесов — при клиническом обследовании ($n = 10$). Наибольшее количество периапикальных изменений было обнаружено при применении ИИ ($n = 22$). Разница между показателями выявления патологических очагов при оценке ИИ и врачом-рентгенологом была статистически незначимой, что говорит о равнозначности данных методов. Рентгенологическая оценка изображений позволила выявить большее число контактных кариесов по сравнению с клиническим осмотром (14 против 7, $p < 0,05$), но клинический осмотр оказался эффективнее в отношении выявления окклюзионных кариесов (10 против 2, $p < 0,03$). Заболевания периодонта были точнее диагностированы рентгенологическим методом (17 против 9, $p < 0,05$). Среднее время оценки КЛКТ-изображений врачом-рентгенологом составило $21,54 \pm 4,4$ минуты, а ИИ выполнил отчет за $4,6 \pm 4,4$ минуты от момента завершения загрузки КЛКТ ($p < 0,01$).

Заключение. Применение технологий ИИ при анализе КЛКТ-изображений позволяет повысить точность диагностики кариеса и его осложнений до 98%, а также существенно ускорить время принятия диагностического решения.

Ключевые слова: искусственный интеллект, кариес, диагностика, конусно-лучевая компьютерная томография, периапикальные изменения

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Зураб Суликоевич ХАБАДЗЕ ORCID ID 0000-0002-7257-5503

к.м.н., доцент кафедры терапевтической стоматологии, Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия
dr.zura@mail.ru

Ирина Михайловна МАКЕЕВА ORCID ID 0000-0002-7878-0452

д.м.н., профессор, заведующая кафедрой терапевтической стоматологии, Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова, г. Москва, Россия
makeeva_i_m@staff.sechenov.ru

Олег Сергеевич МОРДАНОВ ORCID ID 0000-0002-9878-7045

ассистент кафедры терапевтической стоматологии, Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия
mordanov-os@rudn.ru

Дарья Александровна НАЗАРОВА ORCID ID 0000-0002-1508-1080

студентка Российского университета дружбы народов, г. Москва, Россия
1032182486@rudn.ru

Адрес для переписки: Зураб Суликоевич ХАБАДЗЕ

121359, г. Москва, Оршанская улица, дом 9, строение 1
+7 (926) 5666692
dr.zura@mail.ru

Образец цитирования:

Хабадзе З. С., Макеева И. М., Морданов О. С., Назарова Д. А.
ОБРАБОТКА КЛКТ-ДАННЫХ ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ
КАРИЕСА И ЕГО ОСЛОЖНЕНИЙ. Проблемы стоматологии. 2022; 1: 78-87.

© Хабадзе З. С. и др., 2022

DOI: 10.18481/2077-7566-22-18-1-78-87

Поступила 16.03.2022. Принята к печати 12.04.2022

DOI: 10.18481/2077-7566-22-18-1-78-87

PROCESSING OF CBCT DATA WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DIAGNOSIS OF CARIES AND ITS COMPLICATIONS

Khabadze Z.S.¹, Makeeva I.M.², Mordanov O.S.¹, Nazarova D.A.¹

¹ Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

Annotation

Over the past few years, artificial intelligence (AI) technologies have been actively used in many areas of medicine, including dentistry.

The aim of the study is to determine the diagnostic value of IS in the detection of caries and its complications according to cone beam computed tomography (CBCT) data in comparison with clinical examination.

Materials and methods. CBCT images of 15 patients with carious and periodontal lesions were analyzed by an experienced dentist, who also specializes in radiology, and the Diagnostics AI software. The dentist also performed a visual examination of these patients.

Results. Most of all contact caries were determined using AI (n = 20), and occlusal caries – during clinical examination (n = 10). The greatest number of periapical changes was also detected using IS (n = 22). The difference between the indicators of detection of pathological foci in the assessment of IS and the radiologist was statistically insignificant, which indicates the equivalence of these methods. X-ray image evaluation revealed more contact caries compared to clinical examination (14 vs. 7, p < 0.05), but clinical examination was superior in detecting occlusal caries (10 vs. 2, p < 0.03). Periodontal disease was more accurately diagnosed by X-ray (17 vs. 9, p < 0.05). The average time for evaluation of CBCT images by a radiologist was 21.54 ± 4.4 minutes, and the AI completed the report in 4.6 ± 4.4 minutes from the moment the loading of CBCT was completed (p < 0.01).

Conclusion. The use of AI technologies in the analysis of CBCT images can improve the accuracy of diagnosing caries and its complications by up to 98%, as well as significantly speed up the time for making a diagnostic decision.

Keywords: artificial intelligence, caries, diagnostics, cone beam computed tomography, periapical changes

The authors declare no conflict of interest.

Zurab S. KHABADZE ORCID ID 0000-0002-7257-5503

PhD in Medical sciences, Associate Professor of the Department of Therapeutic Dentistry,
Medical Institute, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia
dr.zura@mail.ru

Irina M. MAKEEVA ORCID ID 0000-0002-7878-0452

Grand PhD in Medical Sciences, Professor, Head of Department of Therapeutic Dentistry,
I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia
makeeva_i_m@staff.sechenov.ru

Oleg S. MORDANOV ORCID ID 0000-0002-9878-7045

Teaching Assistant, Department of Therapeutic Dentistry, Medical Institute, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia
mordanov-os@rudn.ru

Daria A. NAZAROVA ORCID ID 0000-0002-1508-1080

Student, Medical Institute, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia 1032182486@rudn.ru

Correspondence address: Zurab S. KHABADZE

121359, Moscow, Orshanskaya street, house 9, building 1
+7 (926) 5666692
dr.zura@mail.ru

For citation:

Khabadze Z.S., Makeeva I.M., Mordanov O.S., Nazarova D.A.

PROCESSING OF CBCT DATA WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DIAGNOSIS OF CARIES
AND ITS COMPLICATIONS. *Actual problems in dentistry.* 2022; 1: 78-87. (In Russ.)

© Khabadze Z.S. et al., 2022

DOI: 10.18481/2077-7566-22-18-1-78-87

Received 16.03.2022. Accepted 12.04.2022

Введение

Искусственный интеллект (ИИ) представляет собой математическую модель с программным или аппаратным обеспечением, работа которой основана на принципах функционирования биологических нейронных сетей [33]. Неотъемлемой частью эффективной работы ИИ является его обучение диагностическим алгоритмам. Современная методика «машинного обучения» (machine learning) заключается в создании базы обучающих клинических примеров, на основании которых впоследствии ИИ распознает и дифференцирует поступающие данные пациента [6, 16]. Машинное обучение является ключевым компонентом функционирования ИИ и обычно применяется для разработки систем ИИ на основе изображений. Одним из путей развития ИИ является технология «глубинного машинного обучения» (deep learning), в которой для обучения ИИ и вывода данных применяются сложные многоуровневые математические задачи, в том числе визуального плана, в результате чего происходит автоматическое изучение нейросетью различных диагностических критериев и их структурирование [18].

Диагностические изображения рассматриваются как один из основных источников данных, используемых для разработки систем ИИ с целью автоматизированного прогнозирования риска заболеваний и их своевременной диагностики. Однако следует отметить, что выбор и расчет обучающих алгоритмов является непростой и ответственной задачей, решение которой объединяет такие прикладные области, как сегментация, обнаружение аномалий, классификация заболеваний, компьютерная диагностика и поиск [5]. При этом обучение нейронной сети более эффективно при включении в обучающий алгоритм комбинаций различных параметров.

Предпосылками внедрения технологий ИИ для обработки изображений стало признание научным медицинским сообществом существенного влияния человеческого фактора при оценке данных визуализирующих диагностических методов специалистами и высокой частоты ошибок, связанных с этим [15]. Применение ИИ делает возможным анализ большого объема данных, предоставляет надежную диагностическую информацию при интерпретации изображений и ускоряет процесс принятия решений [9]. Автоматизация принятия диагностического решения позволяет минимизировать ошибки диагностики, связанные с субъективным мнением клинициста, а также позволяет специалистам обмениваться данными, связанными со здоровьем пациента, что обеспечивает преемственность оказания медицинской помощи.

На сегодняшний день ИИ охватывает широкий спектр новых технологий, которые продолжают влиять на повседневную жизнь, и является перспективным направлением диагностики различных забо-

леваний. В литературе имеются данные об использовании технологий ИИ для диагностики заболеваний кардиологического профиля [30], остеопороза [16], рака кожи [12] и др.

В клинической стоматологической практике для диагностики состояния зубочелюстной системы сегодня повсеместно используются методы трехмерной (3D) визуализации, что стимулирует разработку и внедрение систем ИИ для решения различных клинических задач. Основными источниками изображений в стоматологии на современном этапе являются конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) и внутриротовое (интраоральное) сканирование [26]. КЛКТ позволяет визуализировать и оценивать костные анатомические структуры и патологические изменения в 3D-режиме с высокой диагностической точностью. Применение КЛКТ особенно полезно, когда традиционные методы 2D-визуализации не позволяют получить необходимую информацию для диагностики и планирования лечения [29]. КЛКТ и внутриротовое сканирование считаются идеальным источником данных для разработки моделей ИИ и помогают преодолеть ограничения алгоритмов на основе 2D-изображений [25].

Приоритетными направлениями применения технологий ИИ в стоматологии являются автоматизированная диагностика стоматологических и челюстно-лицевых заболеваний, определение локализации анатомических ориентиров при планировании ортодонтического и ортогнатического лечения, а также общее улучшение качества изображения [20]. По данным обзора 43 исследований, в стоматологии за последние годы различные модели ИИ использовались для обнаружения и диагностики кариеса зубов, вертикальных переломов корней, апикальных поражений, заболеваний слюнных желез, гайморита, челюстно-лицевых кист, метастазов в шейные лимфатические узлы, остеопороза, злокачественных новообразований, потери альвеолярной кости, цефалометрического анализа и др. [22]. На сегодняшний день в стоматологической практике реализовано несколько роботизированных приложений, которые задействуют технологию ИИ, в основном, в рамках пилотных исследований [2, 19].

В настоящее время выполнен ряд исследований, демонстрирующих преимущества применения нейронных сетей для диагностических целей, в том числе в стоматологии.

Например, в исследовании Setzer F.C. et al. показаны отличные результаты применения ИИ, основанного на архитектуре U-Net, при выявлении патологических изменений на основе анализа изображений КЛКТ [32]. Точность обнаружения патологии составила 0,93, специфичность — 0,88, положительная прогностическая ценность — 0,87, а отрицательная прогностическая ценность — 0,93. При этом были

изучены общие кумулятивные индексы DICE для отдельных категорий со следующими результатами: периапикальное поражение — 0,52, структура зуба — 0,74, кость — 0,78, реставрационные материалы — 0,58 и фон — 0,95. Кумулятивный индекс DICE для всех фактических истинных патологических поражений составил 0,67.

В работе Orhan K. et al. (2019) [27] при анализе 153 КЛКТ-изображений от 109 пациентов достоверность правильного определения периапикального поражения с помощью ИИ составила 92,8%, при этом данные, полученные при использовании ИИ и выполненные специалистами, были сопоставимы друг с другом. Следует отметить, что пациенты с периапикальными поражениями могут представлять серьезную проблему с точки зрения диагностики и планирования лечения, поскольку нередко такие пациенты могут длительно испытывать симптомы без каких-либо рентгенологических признаков периапикального заболевания. Поэтому применение ИИ в этой когорте пациентов представляется особенно полезным.

Схожие результаты получены в исследовании Lee J.H. et al. (2018), которые на большой выборке периапикальных рентгенограмм продемонстрировали высокую точность предварительно обученной нейронной сети GoogLeNet Inception v3 в диагностике кариеса зубов [24].

Casalegno F. et al. (2019) [8] применили сверточную нейронную сеть, обученную методике семантической сегментации изображений, полученных с помощью инфракрасной трансиллюминации, для автоматического обнаружения и локализации кариеса. Для глубокого машинного обучения было использовано 185 обучающих образцов. Эффективность обнаружения окклюзионных кариозных поражений составила 83,6%, а проксимальных — 85,6%.

В исследовании Geetha V. et al. (2020) [17] была проведена оценка эффективности машинного обучения нейронной сети для диагностики кариеса. Было показано, что система ИИ выявляет кариес с точностью 97,1%, при этом частота ложноположительных результатов составила 2,8%. Авторы заключили, что нейронные сети могут быть гораздо более точными в обнаружении кариеса, чем традиционное стоматологическое обследование.

С помощью ИИ могут быть обнаружены реставрации зубов и проведена их классификация. Например, в исследовании Abdalla-Aslan R. et al. (2020) было проанализировано 738 реставраций зубов на 83 панорамных изображениях [4]. Алгоритмы, использованные в данной работе, обнаружили 93,6% зубных реставраций. Кроме того, реставрации были разделены на 11 категорий по форме и распределению оттенков серого цвета.

Точная оценка локализации и распространенности поражения зубочелюстной системы принципиально

важна для планирования лечения и оценки эффективности полученных результатов. В связи с этим Choi H.I. et al. (2019) изучили эффективность применения ИИ при планировании решения об ортогнатическом хирургическом или консервативном лечении путем сравнения фактического диагноза с диагнозом, сгенерированным моделью ИИ [10]. Точность ИИ в отношении принятия решения о хирургической/нехирургической тактике ведения пациентов оказалась на уровне 96%, а точность выбора типа операции была равна 91%.

Bayrakdar S.K. et al. (2021) оценили эффективность системы ИИ при планировании имплантации [7]. На 75 КЛКТ-изображениях высота и толщина кости в 508 областях, где планировалось установить имплантаты, а также анатомические ориентиры оценивались визуально специалистами-стоматологами и с использованием глубокой сверточной нейронной сети Diagnocat. При измерении высоты кости не было статистически значимых различий между оценками, полученными с помощью ИИ и специалистами, а при измерении толщины кости наблюдались статистически значимые различия по всем областям верхней и нижней челюсти ($p < 0,001$). Доля правильного диагностирования составила 72,2% для каналов, 66,4% — для пазух/ямок и 95,3% — для областей отсутствующих зубов. Таким образом, применение систем ИИ для планирования имплантации может облегчить работу врачей и улучшить результаты дентальной имплантации.

Представляет интерес исследование Javed S. et al. (2020), которые использовали искусственную нейронную сеть для обнаружения *Streptococcus mutans*, являющегося, как известно, основным возбудителем кариеса [21]. Диагностическая точность применения нейронной сети составила 99,03% и была подтверждена микробиологическим методом. По мнению авторов исследования, такой алгоритм может быть использован для выбора метода экскавации кариеса перед подготовкой к реставрации и, таким образом, позволит улучшить результаты лечения.

По данным Estrela C. et al. (2009), оценка с помощью ИИ изображений, полученных при КЛКТ, обладает большей диагностической точностью в отношении воспалительной резорбции корня зуба по сравнению с периапикальной рентгенографией [13].

Однако, как отмечают Kulkarni S. et al. (2020), в настоящее время данные о применении ИИ в клинической практике не структурированы [23]. Кроме того, остаются нерешенными некоторые организационно-методические аспекты внедрения ИИ в рутинную клиническую практику [3, 31], а именно:

- необходимость стандартизации и валидации нейронных сетей и клинических примеров, которые используются для их обучения;
- степень автономности ИИ в процессе принятия решений;

- правовой аспект применения технологий ИИ, включая вопросы ответственности за диагностическое заключение, а также вопросы защиты персональных данных;
- разработка программ первичного обучения и повышения квалификации специалистов при работе с нейронной сетью.

Таким образом, несмотря на положительный опыт применения ИИ в стоматологии, продемонстрированный в ряде работ, на сегодняшний день технологии ИИ не имеют широкого применения в рутинной стоматологической практике. Необходимо проведение дальнейших исследований, которые позволят внедрить нейронные сети в работу стоматолога.

Целью данного исследования было определение диагностической ценности ИИ в выявлении кариеса и его осложнений по данным КЛКТ изображений при сопоставлении с клиническим обследованием.

Материалы и методы

В трех диагностических центрах выполнялась КЛКТ в формате DICOM на КЛКТ-аппаратах Promax 3D Max (Planmeca, Финляндия) и Orthopantomograph OP300 Maxio (Kavo, Германия). Изображения были получены с использованием области исследования 8×15 (FoV) с размерами вокселя от 0,100 до 0,200 мм³. Для получения бинарного прогноза состояния, полученного при 3D-сканировании КЛКТ, использовалось программное обеспечение Diagnocat AI.

Все пациенты подписали письменное информированное согласие на проведение КЛКТ. Протокол исследования был выполнен в соответствии с принципами Хельсинкской декларации.

Отбор КЛКТ-изображений для проведения исследования проводился по следующим критериям:

- наличие у пациента не менее одного клинического проявления кариозного и периодонтального поражения;

- отсутствие артефактов КЛКТ;
- отсутствие любого лечения и проведения процедур профессиональной гигиены в период между клиническим осмотром и КЛКТ-исследованием;
- отсутствие у пациента острой боли для возможности правильной интерпретации данных.

К клиническим проявлениям кариозного процесса относили:

- изменение цвета тканей с препятствием при зондировании;
- наличие размягченной кариозной полости;
- кратковременную чувствительность при температурной пробе;
- нарушение прилегания и кариозные изменения в области реставраций.

Клиническими признаками заболеваний периодонта считали:

- болезненность при сравнительной перкуссии;
- отсутствие реакции при температурной пробе;
- синус-тракт.

В соответствии с критериями отбора в исследование было включено 15 пациентов, 8 (53,3%) женщин и 7 (46,7%) мужчин.

Проводилось сопоставление данных клинического осмотра, проведенного врачом-стоматологом, визуальной оценки КЛКТ-изображений, полученных опытным врачом-стоматологом, имеющим специализацию в области рентгенологии, с оценкой Diagnocat AI без первичного редактирования.

Статистическую обработку полученных результатов проводили с помощью программы «Statistica 10.0» (StatSoft Inc., США). Рассчитывали средние арифметические значения (M) и ошибку среднего арифметического (m). Для сравнения показателей между группами использовали U-критерий Манна–Уитни. Значение $p < 0,05$ считали статистически значимым.

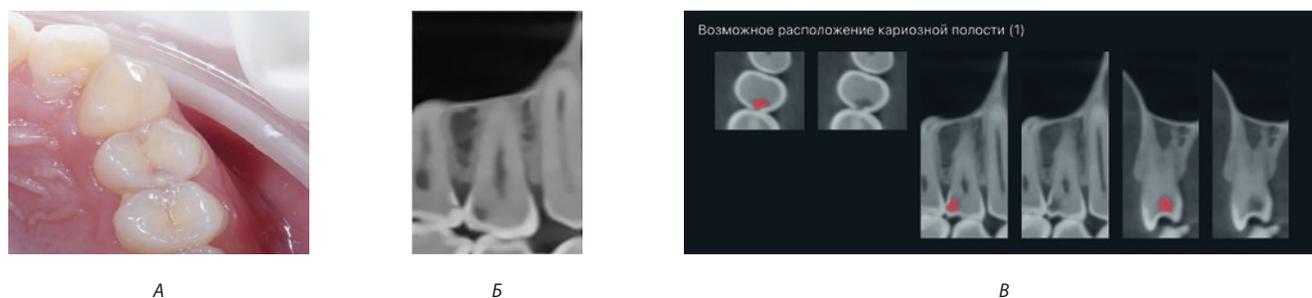


Рис. 1. Оценка кариозных изменений в области медиальных и дистальных контактов по клиническим проявлениям и с помощью ИИ

А. Клиническое проявление кариеса на дистальной контактной поверхности зуба 15. Предварительно медиальная поверхность была под вопросом относительно кариозных изменений; Б. КЛКТ-срез зуба 15; В. Определение ИИ кариозной полости

Fig. 1. Evaluation of carious changes in the area of medial and distal contacts according to clinical manifestations and using AI
A. Clinical manifestation of caries on the distal contact surface of tooth 15. Previously, the medial surface was questionable regarding carious changes; B. CBCT-section of tooth 15; V. Finding carious cavity using AI

Результаты исследования

На первом этапе исследования проводили оценку кариозных изменений, а именно кариеса в области медиальных и дистальных контактов (рис. 1), а также на окклюзионной поверхности (рис. 2). Наибольшее количество контактных кариесов было определено с помощью ИИ (n = 20), а окклюзионных — при клиническом обследовании (n = 10).

На втором этапе исследования была проведена оценка периапикальных изменений по клиническим проявлениям и с помощью ИИ (рис. 3 и 4). Наибольшее количество периапикальных изменений было обнаружено с помощью ИИ (n = 22).

В таблице 1 приведено сравнение диагностических данных, полученных во время клинического осмотра, при оценке КЛКТ врачом-рентгенологом и ИИ.

Среднее время оценки КЛКТ-изображений врачом-рентгенологом составило $25,3 \pm 2,01$ минуты, в то время как ИИ выполнил отчет за $5,1 \pm 1,2$ минуты от момента завершения загрузки КЛКТ ($p < 0,01$). Детальное сравнение времени, затраченного на поиск определенной патологии, и времени, затраченного ИИ на оценку КЛКТ, представлено на рис. 5 (табл. 2).

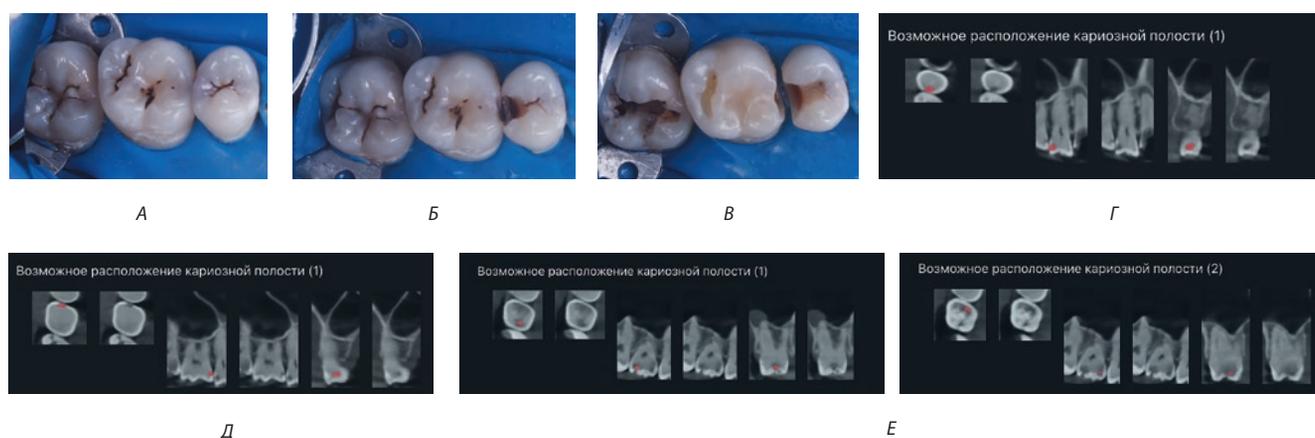


Рис. 2. Оценка кариеса на окклюзионной поверхности по клиническим проявлениям и с помощью ИИ

- А. Клиническое проявление кариеса на дистальной контактной поверхности зуба 15, на окклюзионной поверхности зубов 16 и 17; Б. Начальный этап препарирования кариозной полости зуба 15, отмечается кариозное изменение в области медиальной стенки зуба 16; В. Препарирование кариозной полости зуба 17; Г. Оценка ИИ зуба 15; Д. Оценка ИИ зуба 16; Е. Оценка ИИ зуба 17

Fig. 2. Evaluation of caries on the occlusal surface by clinical manifestations and using AI

- A. Clinical manifestation of caries on the distal contact surface of tooth 15, on the occlusal surface of teeth 16 and 17; B. The initial stage of preparation of the carious cavity of tooth 15, there is a carious change in the area of the medial wall of tooth 16;

- V. Preparation of the carious cavity of the tooth 17; G. AI's evaluation of tooth 15; D. AI's evaluation of tooth 16; E. AI's evaluation of tooth 17

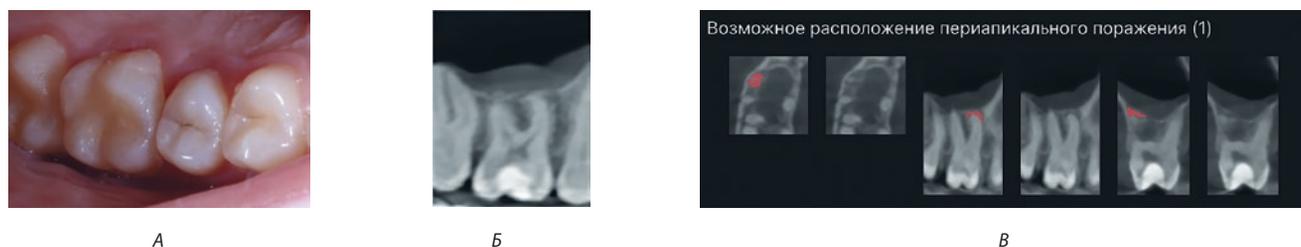


Рис. 3. Оценка периапикальных изменений по клиническим проявлениям и с помощью ИИ

- А. Зуб 16, отмечаются периодические боли при накусывании. Зуб был лечен по кариесу дентина 3 года назад. Реакция на температурные раздражители отсутствовала. Реакция на перкуссия — слабоболезненная, отличается от перкуссии в области зубов 17 и 15. При пародонтологическом исследовании глубина зондирования не превышала 3 мм; Б. КЛКТ-срез зуба 16. Зуб восстановлен гиперденсным материалом, материал не сообщается с полостью зуба, прилежит к ней; В. При оценке зуба ИИ отмечается расширение периодонтальной щели. Данная находка была упущена при классическом рентгенологическом анализе;

Fig. 3. Assessment of periapical changes by clinical manifestations and using AI

- A. Tooth 16, intermittent pain when biting. The tooth was treated for dentin caries 3 years ago. There was no response to thermal stimuli. The reaction to percussion is slightly painful, it differs from percussion in the area of teeth 17 and 15. During periodontal examination, the probing depth did not exceed 3 mm; B. CBCT-section of tooth 16. The tooth was restored with hyperdensity material, the material does not communicate with the tooth cavity, it is adjacent to it; V. Evaluating tooth with AI, an expansion of the periodontal gap is noted. This finding was missed in the classical X-ray analysis

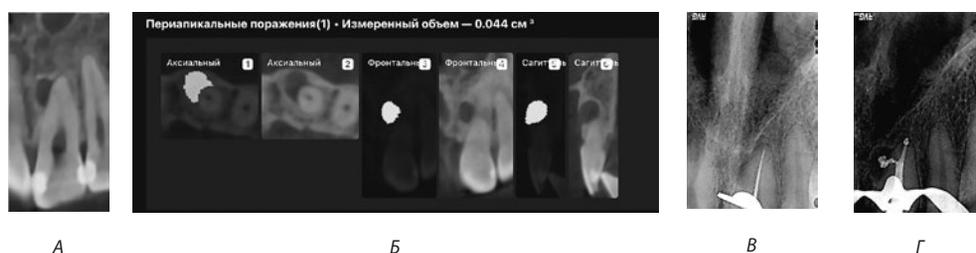


Рис. 4. Оценка КЛКТ-периапикальных изменений

А. КЛКТ-срез зуба 21. Асимптоматичный апикальный периодонтит, в анамнезе — травма зуба около 7 лет до обращения. Пародонтологическое исследование — глубина зондирования не превышала 2 мм; Б. Оценка зуба 11И. Отмечается объем очага поражения с четкими контурами; В. Периапикальный снимок при измерении рабочей длины. Данная проекция не информативна для оценки очага разрежения костной ткани; Г. Зуб после obtурации корневого канала. Для дальнейшей динамики заживления и измерения объема очага поражения потребуется оценка ИИ

Fig. 4. Assessment of CBCT-periapical changes

A. CBCT-section of tooth 21. Asymptomatic apical periodontitis, history of tooth trauma about 7 years prior to treatment. Periodontal examination – the depth of probing did not exceed 2 mm; B. Evaluation of the tooth using AI. The volume of the lesion with clear contours is noted; V. Periapical X-ray for measuring working length. This projection is not informative for assessing the focus of bone tissue rarefaction; G. Tooth after root canal obturation. For further dynamics of healing and measurement of the volume of the lesion, an assessment of AI will be required.

Таблица 1

Количество случаев выявления кариеса во время клинического осмотра, оценки КЛКТ врачом-рентгенологом и ИИ

Table 1. Number of cases of caries detection during clinical examination, assessment of CBCT by a radiologist and AI

Показатель	Клинический осмотр	Оценка КЛКТ врачом-рентгенологом	Оценка КЛКТ искусственным интеллектом
Кариес окклюзионный	10	2	2
Кариес контактный	7	14	20
Периапикальные признаки	9	17	22

Примечание: $p = 0,3$ при сравнении показателей, полученных при оценке КЛКТ врачом-рентгенологом и ИИ; $p = 0,7$ при сравнении показателей, полученных при клиническом осмотре и оценке КЛКТ врачом-рентгенологом.

Таблица 2

Затраченное время (мин) на определение кариеса контактного, кариеса окклюзионного и периодонтита врачом-стоматологом, имеющим специализацию по рентгенологии, и на обработку КЛКТ-снимка ИИ. Уровень значимости (P-value) указан для сравнения времени, затраченного на определение патологии, с обработкой снимка ИИ

Table 2. The time spent (min) for the determination of contact caries, occlusal caries and periodontitis by a dentist with a specialization in radiology, and for the processing of an AI CBCT image. The significance level (P-value) is indicated to compare the time spent on determining the pathology with the processing of the AI image

Показатель	Время (мин)	p-value
Кариес окклюзионный	6,76 ± 0,69	<0.01
Кариес контактный	6,65 ± 0,84	<0.01
Периапикальные признаки	11,9 ± 1,5	<0.01
ИИ	5,1 ± 1,2	N/A

Обсуждение

Кариес зубов во всем мире является наиболее распространенным хроническим заболеванием, раннее выявление которого может значительно улучшить результаты лечения и снизить потребность в инвазивных процедурах. Однако при клиническом осмотре пациента врачом-стоматологом всегда существует риск пропустить какие-то патологические изменения ввиду их скрытой локализации или в связи с наличием у пациента ортопедических конструкций, которые затрудняют возможность визуальной оценки. Нередко диагностические сложности вызывает выявление скрытого кариеса в области контактных поверхностей и фиссур жевательных зубов, которые труднодоступны для клинического исследования [1]. Кроме того, результаты визуального осмотра зачастую зависят от клинического опыта врача и во многом являются субъективными. В этом случае применение технологий ИИ способствует повышению эффективности работы стоматолога и позволяет повысить точность диагностики заболеваний.

В проведенном нами исследовании разница между показателями выявления патологических очагов при оценке ИИ и врачом-рентгенологом была статистически незначимой, что позволяет сделать вывод о равнозначности данных методов. При этом рентгенологическая оценка изображений позволила выявить большее число контактных кариесов по сравнению с клиническим осмотром (14 против 7, $p < 0,05$), но клинический осмотр оказался эффективнее в отношении выявления окклюзионных кариесов (10 против 2, $p < 0,03$). Заболевания пародонтита были точнее диагностированы рентгенологическим методом (17 против 9, $p < 0,05$), поскольку в ряде случаев сопровождалось отсутствием клинических признаков.

Следует подчеркнуть существенную разницу во времени при анализе КЛКТ-изображений с помощью ИИ и специалистом, выявленную в исследовании. Так, ИИ в 4,6 раза быстрее предоставляет результат, что существенно сокращает продолжительность принятия диагностического решения и экономит рабочее время специалиста.

Результаты нашего исследования согласуются с данными ряда других авторов. Так, в исследовании [14] представлены результаты применения системы Diagnocat AI для оценки КЛКТ-визуализации в режиме реального времени. Система включала модули для оценки локализации анатомических ориентиров и патологии (кариеса, пародонтита, периапикального поражения). В клинической оценке 30 КЛКТ-изображений приняли участие 24 стоматолога, которые были разделены на 2 группы, одна из которых анализировала изображения с помощью системы ИИ, а другая — без ее участия. Значения диагностической чувствительности для группы сто-

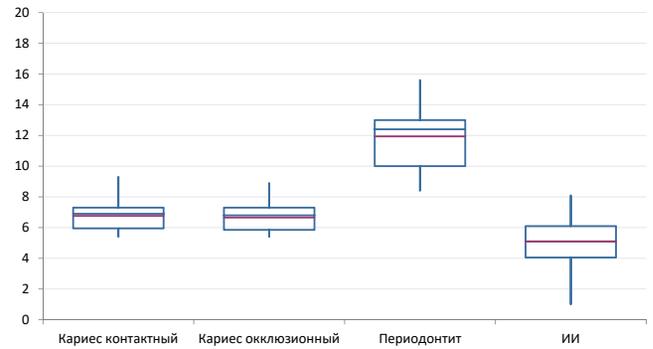


Рис. 5. Затраченное время (мин) на определение кариеса контактного, кариеса окклюзионного и периодонтита врачом-стоматологом, имеющим специализацию по рентгенологии, и на обработку КЛКТ-снимка ИИ

Fig. 5. The time spent (min) for the determination of contact caries, occlusal caries and periodontitis by a dentist with a specialization in radiology, and for the processing of an AI CBCT image

матологов, оценивающих изображения с помощью технологии ИИ, составила 0,8537, а в группе, выполняющей только клиническую оценку, — 0,7672. Специфичность составила 0,9672 и 0,9616 соответственно ($p = 0,032$). Авторами был сделан вывод о том, что система ИИ значительно улучшает диагностические возможности стоматологов.

Zadrozny Ł. et al. (2022) [34] проанализировали возможности Diagnocat в оценке 30 ортопантограмм при сопоставлении с оценкой трех стоматологов, имеющих стаж работы от 12 лет и выше. Применение технологии ИИ продемонстрировало очень высокую специфичность (выше 0,9) для всех показателей, за исключением потери костной массы в периодонте.

В ретроспективном исследовании была проанализирована диагностическая ценность технологии ИИ для оценки ретенированных третьих моляров по данным КЛКТ [28]. С помощью коэффициента Каппа проводилось сопоставление оценок, данных специалистами, и системой ИИ по таким параметрам, как обнаружение ретенированных зубов, их количество, количество корней/каналов зубов, взаимосвязь с соседними анатомическими структурами. Из 130 КЛКТ-изображений третьих моляров 112 случаев (86,2%) были расценены ИИ как пораженные кариесом. Количество корней было правильно определено в 99 зубах (78,6%), а количество каналов — в 82 зубах (68,1%). В целом, проведенный анализ выявил высокую сопоставимость оценок, данных специалистами-стоматологами и ИИ, в диагностике ретенированных третьих моляров и их взаимосвязи с анатомическими структурами (нижний альвеолярный канал и верхнечелюстная пазуха).

Вместе с тем, в исследовании Devito K.L. et al. (2008) было показано, что применение нейронной сети на 39,4% информативнее по сравнению с

оценкой рентгенологических изображений специалистами в диагностике проксимального кариеса [11]. В данной работе 160 рентгенографических изображений проксимальных поверхностей удаленных зубов пациентов были оценены на наличие кариеса 25 исследователями и нейронной сетью. Диагностическую эффективность методов сравнивали с помощью ROC-анализа. У наиболее опытного из 25 исследователей площадь ROC-кривой составила 0,717, тогда как при диагностике с помощью ИИ — 0,884, что

свидетельствует о значительном улучшении диагностики проксимального кариеса.

Заключение

Применение технологий ИИ при анализе КЛКТ-изображений позволяет повысить точность диагностики кариеса и его осложнений до 98%, а также существенно ускорить время принятия диагностического решения.

Литература/References

1. Бурда А.Н., Рутковская А.С. Диагностика скрытого кариеса с помощью рентген-диагностики BITEWING. Современная стоматология. 2020;3:86-90. [A.N. Burda, A.S. Rutkovskaya. Diagnosis of latent caries using BITEWING X-ray diagnostics. Modern dentistry. 2020;3:86-90. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44144549>
2. Казумян С.В., Дегтев И.А., Борисов В.В., Ершов К.А. Виртуальные технологии в стоматологии. Вестник Авиценны. 2020;22(4):606-612. [S.V. Kazumyan, I.A. Degtev, V.V. Borisov, K.A. Ershov. Virtual technologies in dentistry. Bulletin of Avicenna. 2020;22(4):606-612. (In Russ.)]. doi: 10.25005/2074-0581-2020-22-4-606-612
3. Пальмов С.В., Бахмурина А.А. Использование нейронных сетей в стоматологии. Проблемы развития предприятий: теория и практика. 2020;1-2:237-240. [S.V. Palmov, A.A. Bakhmurina. The use of neural networks in dentistry. Problems of enterprise development: theory and practice. 2020;1-2:237-240. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44800679>
4. Abdalla-Aslan R., Yeshua T., Kabla D., Nadler C. An artificial intelligence system using machine-learning for automatic detection and classification of dental restorations in panoramic radiography // Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol. – 2020;130(5):593-602. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2020.05.012>
5. Anwar S.M., Majid M., Qayyum A., Awais M., Alnowami M., Khan K. Medical Image Analysis using Convolutional Neural Networks: A Review // J Med Syst. – 2018;42:11-226. <https://doi.org/10.1007/s10916-018-1088-1>
6. Balyen L., Peto T. Promising Artificial Intelligence-Machine Learning-Deep Learning Algorithms in Ophthalmology // Asia Pac J Ophthalmol (Phila). – 2019;8(3):264-272. doi: 10.22608/APO.2018479
7. Bayraktar S.K., Orhan K., Bayraktar I.S., Bilgir E., Ezhov M., Gusarev M., Shumilov E. A deep learning approach for dental implant planning in cone-beam computed tomography images // BMC Med Imaging. – 2021;21(1):86. <https://doi.org/10.1186/s12880-021-00618-z>
8. Casalegno F., Newton T., Daher R., Abdelaziz M., Lodi-Rizzini A., Schürmann F., Krejci I., Markram H. Caries Detection with Near-Infrared Transillumination Using Deep Learning // J Dent Res. – 2019;98:11:1227-1233. <https://doi.org/10.1177/0022034519871884>
9. Chen Y.-W., Stanley K., Att W. Artificial intelligence in dentistry: current applications and future perspectives // Quintessence Int. – 2020;1(3):248-257. DOI: 10.3290/j.qi.a44465
10. Choi H.I., Jung S.-K., Baek S.-H., Lim W.H., Ahn S.-J., Yang I.-H., Kim T.-W. Artificial Intelligent Model With Neural Network Machine Learning for the Diagnosis of Orthognathic Surgery // J Craniofac Surg. – 2019;30:7:1986-1989. doi: 10.1097/SCS.0000000000000560
11. Devito K.L., de Souza Barbosa F., Felipe Filho W.N. An artificial multilayer perceptron neural network for diagnosis of proximal dental caries // Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology. – 2008;106(6):879-884. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2008.03.002>
12. Esteve A., Kuprel B., Nova R.A., Ko J., Swetter S.M., Blau H.M., Thrun S. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks // Nature. – 2017;542:7639:115-118. <https://doi.org/10.1038/nature21056>
13. Estrela C., Bueno M.R., De Alencar A.H.G., Mattar R., Neto J.V., Azevedo B.C., De Araújo Estrela C.R. Method to evaluate inflammatory root resorption by using cone beam computed tomography // J Endod. – 2009;35:11:1491-1497. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.08.009>
14. Ezhov M., Gusarev M., Golitsyna M., Yates J.M., Kushnerev E., Tamimi D., Aksoy S., Shumilov E., Sanders A., Orhan K. Clinically applicable artificial intelligence system for dental diagnosis with CBCT // Scientific reports. – 2021;11(1):1-16. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94093-9>
15. Fazal M.I., Patel M.E., Tye J., Gupta Y. The past, present and future role of artificial intelligence in imaging // Eur J Radiol. – 2018;5:246-250. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.06.020>
16. Ferizi U., Besser H., Hysi P., Jacobs J., Rajapakse C.S., Chen C., Saha P.K., Honig S., Chang G. Artificial Intelligence Applied to Osteoporosis: A Performance Comparison of Machine Learning Algorithms in Predicting Fragility Fractures From MRI Data // J Magn Reson Imaging. – 2019;49(4):1029-1038. <https://doi.org/10.1002/jmri.26280>
17. Geetha V., Aprameya K.S., Hinduja D.M. Dental caries diagnosis in digital radiographs using back-propagation neural network // Health Information Science and Systems. – 2020;8(1):1-14. <https://doi.org/10.1007/s13755-019-0096-y>
18. Girard M.J.A., Schmetterer L. Artificial intelligence and deep learning in glaucoma: Current state and future prospects // Prog Brain Res. – 2020;257:37-64. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2020.07.002>
19. Grischke J., Johannsmeier L., Eich L., Griga L., Haddadin S. Dentrionics: Towards robotics and artificial intelligence in dentistry // Dent Mater. – 2020;36(6):765-778. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.03.021>
20. Hung K., Yeung A.W.K., Tanaka R., Bornstein M.M. Current Applications, Opportunities, and Limitations of AI for 3D Imaging in Dental Research and Practice // Int J Environ Res Public Health. – 2020;17(12):4424. <https://doi.org/10.3390/ijerph17124424>
21. Javed S., Zakirulla M., Baig R.U., Asif S.M., Meer A.B. Development of artificial neural network model for prediction of post-streptococcus mutans in dental caries // Comput Methods Programs Biomed. – 2020;186:105198. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2019.105198>
22. Khanagar S.B., Al-eihaideb A., Maganur P.C., Vishwanathaiah S., Patil S., Baeshen H.A., Sarode S.C., Bhandi S. Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry – A systematic review // Journal of dental sciences. – 2021;16(1):508-522. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2020.06.019>
23. Kulkarni S., Seneviratne N., Baig M.S., Khan A.H.A. Artificial Intelligence in Medicine: Where Are We Now? // Acad Radiol. – 2020;27(1):62-70. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2019.10.001>
24. 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 // J Dent. – 2018;77:106-111. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2018.07.015>
25. Leite A.F., de Faria Vasconcelos K., Willems H., Jacobs R. Radiomics and Machine Learning in Oral Healthcare // Proteomics Clin Appl. – 2020;14(3):e1900040. <https://doi.org/10.1002/prca.201900040>
26. Leonardi D.K., Dutra K.L., Haas L., Porporatti A.L., Flores-Mir C., Santos J.N., Mezzomo L.A., Corrêa M., De Luca Canto G. Diagnostic Accuracy of Cone-beam Computed Tomography and Conventional Radiography on Apical Periodontitis: A Systematic Review and Meta-analysis // J Endod. – 2016;42(3):356-364. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.12.015>
27. Orhan K., Bilgir E., Bayraktar I.S., Ezhov M., Gusarev M., Shumilov E. Evaluation of artificial intelligence for detecting impacted third molars on cone-beam computed tomography scans // J Stomatol Oral Maxillofac Surg. – 2021;122(4):333-337. <https://doi.org/10.1016/j.jormas.2020.12.006>
28. Orhan K., Bayraktar I.S., Ezhov M., Kravtsov A., Özyürek T. Evaluation of artificial intelligence for detecting periapical pathosis on cone-beam computed tomography scans // Int Endod J. – 2020;53(5):680-689. <https://doi.org/10.1111/iej.13265>
29. Pauwels R., Araki K., Siewersden J.H., Thongvigitmanee S.S. Technical aspects of dental CBCT: state of the art // Dentomaxillofac Radiol. – 2015;44(1):20140224. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20140224>
30. Schuhbaeck A., Otaki Y., Achenbach S., Schneider C., Slomka P., Berman D.S., Dey D. Coronary calcium scoring from contrast coronary CT angiography using a semiautomated standardized method // J Cardiovasc Comput Tomogr. – 2015;9(5):446-453. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2015.06.001>
31. Schwendicke F., Samek W., Krois J. Artificial Intelligence in Dentistry: Chances and Challenges // J Dent Res. – 2020;99(7):769-774. <https://doi.org/10.1177/0022034520915714>
32. Setzer F.C., Shi K.J., Zhang Z., Yan H., Yoon H., Mupparapu M., Li J. Artificial Intelligence for the Computer-aided Detection of Periapical Lesions in Cone-beam Computed Tomographic Images // J Endod. – 2020;46(7):987-993. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.03.025>
33. Xiang, Zhao L., Liu X., Wu X., Chen J., Long E., Lin D., Zhu Y., Chen C., Lin Z., Lin H. Implementation of artificial intelligence in medicine: Status analysis and development suggestions // Artif Intell Med. – 2020;102:101780. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2019.101780>
34. Zadrożny Ł., Regulski P., Brus-Sawczuk K., Czajkowska M., Parkanyi L., Ganz S., Mijiritsky E. Artificial Intelligence Application in Assessment of Panoramic Radiographs // Diagnostics. – 2022;12(1):224. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12010224>

DOI: 10.18481/2077-7566-22-18-1-87-91
УДК 616-053.8

ВЛИЯНИЕ СТОМАТОЛОГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ НА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС И КАЧЕСТВО ЖИЗНИ ПАЦИЕНТОВ

Балин К. Д., Борисова Э. Г.

Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Отсутствие состоятельности зубных рядов и страх стоматологического лечения — одни из важнейших проблем для стоматологического пациента старшей возрастной группы, влияющие не только на пищеварительную систему, но и на качество жизни в целом. Традиционные методы восстановления несостоятельных зубных рядов съёмными протезами до сих пор не утратили своей значимости, но не во всех случаях позволяют добиться удовлетворительного для пациентов результата. Современная стоматологическая практика позволяет реабилитировать жевательную функцию пациентов посредством несъёмного протезирования в кратчайшие сроки. Данное исследование посвящено изучению влияния стоматологического лечения на психофизиологический статус и качество жизни пациентов при тотальной стоматологической реабилитации в зависимости от исходных клинических ситуаций. В рамках проведенного исследования были сформированы 2 клинические группы: пациенты с полной потерей зубов, использующие съёмные протезы длительное время, и пациенты, чьи зубы не подлежат сохранению. Для оценки психофизиологического состояния пациента перед оперативным вмешательством использовался тест личностной тревожности Спилбергера-Ханина. С целью динамической оценки влияния состояния зубочелюстной системы на качество жизни использовался опросник ОНП-14. В ходе исследования установлено, что, в зависимости от исходной клинической ситуации, состояние разных групп пациентов непосредственно перед оперативным вмешательством различается. Группа пациентов, чьи зубы не подлежат сохранению, гораздо сильнее ощущает тревогу. Динамическая оценка качества жизни показывает, что проведенное лечение положительно влияет на качество жизни пациентов в обеих группах.

Ключевые слова: *денальные имплантаты, полная потеря зубов, стоматологическая реабилитация, качество жизни, психофизиологический статус, ОНП-14, шкала Спилбергера-Ханина*

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Кирилл Дмитриевич БАЛИН ORCID ID 0000-0002-2731-1656

аспирант кафедры общей стоматологии и клиники стоматологии, Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия
kbalin.spb@gmail.com

Элеонора Геннадиевна БОРИСОВА ORCID ID 0000-0003-2288-9456

д.м.н., профессор кафедры общей стоматологии и клиники стоматологии, Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия
pobedaest@mail.ru

Адрес для переписки: Элеонора Геннадиевна БОРИСОВА

194044, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6
+7 (999) 2090861
pobedaest@mail.ru

Образец цитирования:

Балин К. Д., Борисова Э. Г.

ВЛИЯНИЕ СТОМАТОЛОГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ НА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС И КАЧЕСТВО ЖИЗНИ ПАЦИЕНТОВ. Проблемы стоматологии. 2022; 1: 87-91.

© Балин К. Д. и др., 2022

DOI: 10.18481/2077-7566-22-18-1-87-91

Поступила 02.02.2022. Принята к печати 12.03.2022