

DOI: 10.18481/2077-7566-2025-21-2-11-19

УДК 616.314-089.23

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР)

Иванов А. Е.¹, Брагин А. В.¹, Вергун Ю. Е.², Куратова Л. М.¹, Куратов И. А.¹

¹ Тюменский государственный медицинский университет, г. Тюмень, Россия

² ГАУЗ ТО «Областная стоматологическая поликлиника», г. Тюмень, Россия

Аннотация

Актуальность. В рамках данного исследования был проведен обзор современных научных данных, посвященных актуальной проблеме стоматологии — улучшению качества ортопедического лечения за счёт внедрения технологий искусственного интеллекта.

Предмет. В ортопедической стоматологии искусственный интеллект (ИИ) представляет собой передовую технологию, способную точно анализировать клинические данные, применять «обученные алгоритмы» для решения различных задач (определение границы препарирования, планирование протезирования, проектирование конструкций и др.) и адаптировать эти решения в зависимости от конкретных клинических условий и требований к реабилитации.

Цель работы заключается в изучении научной литературы, опубликованной с 2017 по 2025 годы, для оценки потенциала ИИ в повышении эффективности и точности зубного и челюстно-лицевого протезирования.

Материалы и методы. Методологическая база исследования включала анализ 54 публикаций, охватывающих инновационные подходы к диагностике, планированию лечения и созданию прецизионных ортопедических конструкций с использованием алгоритмов нейросетевых моделей и машинного обучения.

Результаты. Хотя обработка изображений с помощью искусственного интеллекта (ИИ) является устоявшейся практикой в медицине, стоматологическая отрасль, опираясь на CAD/CAM-технологии, претерпевает собственную цифровую эволюцию. Значимым вектором последних лет становится интеграция ИИ. В сфере ортопедической стоматологии ИИ способствует автоматизации рутинных операций, создавая предпосылки для прорыва в точности диагностики, планирования лечения и изготовления несъемных и съемных конструкций, что в конечном итоге повышает качество протезирования.

Выводы

1. Выявлены значительные достоинства ИИ в протезировании: автоматизированное составление плана лечения, оптимизация ключевых этапов реабилитации: эффективная обработка данных (конусно-лучевые компьютерные томограммы, 3D-сканы), выбор конструкции и цвета, определение позиции имплантатов, что сокращает время лечения без потери точности.

2. Требуется улучшение алгоритмов, повышение их прецизионности и разработка новых методов обработки данных.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, нейросети, протезирование, ортопедическая стоматология, имплантация

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Александр Евгеньевич ИВАНОВ ORCID ID 0009-0000-8922-338X

ординатор кафедры ортопедической стоматологии, Тюменский государственный медицинский университет, г. Тюмень, Россия
aleksandr-9001@bk.ru

Александр Витальевич БРАГИН ORCID ID 0000-0002-8019-1075

д.м.н., профессор, заведующий кафедрой ортопедической стоматологии, Тюменский государственный медицинский университет, г. Тюмень, Россия
bragin-1963@yandex.ru

Юрий Евгеньевич ВЕРГУН ORCID 0009-0004-9335-1981

главный врач ГАУЗ ТО «Областная стоматологическая поликлиника», г. Тюмень, Россия
oblstoma2007@yandex.ru

Луиза Минизакиевна КУРАТОВА ORCID ID 0000-0002-5791-583X

к.м.н., доцент кафедры ортопедической стоматологии, Тюменский государственный медицинский университет, г. Тюмень, Россия
luizonchik@mail.ru

Илья Александрович КУРАТОВ ORCID ID 0000-0002-2469-8103

к.м.н., доцент кафедры ортопедической стоматологии, Тюменский государственный медицинский университет, г. Тюмень, Россия
alliance-med@mail.ru

Адрес для переписки: Александр Евгеньевич ИВАНОВ

625014, Россия, г. Тюмень, ул. Казачьи Луга, 10

+7 (912) 381-36-14

aleksandr-9001@bk.ru

Образец цитирования:

Иванов А. Е., Брагин А. В., Вергун Ю. Е., Куратова Л. М., Куратов И. А.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР). Проблемы стоматологии. 2025; 2: 11-19.

© Иванов А. Е. и др., 2025

DOI: 10.18481/2077-7566-2025-21-2-11-19

Поступила 15.06.2025. Принята к печати 06.07.2025

DOI: 10.18481/2077-7566-2025-21-2-11-19

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PROSTHODONTICS (LITERATURE REVIEW)

Ivanov A.E.¹, Bragin A.V.¹, Vergun Yu.E.², Kuratova L.M.¹, Kuratov I.A.¹

¹ Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia

² Regional Dental Clinic, Tyumen, Russia

Abstract

Background data. This study reviews contemporary scientific literature addressing a critical issue in dentistry: enhancing the quality of prosthetic treatment through the integration of artificial intelligence (AI) technologies.

Subject. In prosthodontics, artificial intelligence represents a cutting-edge technology capable of accurately analyzing clinical data, utilizing trained algorithms for diverse tasks (e.g., identifying preparation margins, planning prosthetic treatments, designing restorations), and adapting solutions to specific clinical conditions and rehabilitation requirements.

Objective. To evaluate the potential of AI in improving the efficiency and accuracy of dental and maxillofacial prosthetics through analysis of scientific literature published between 2017 and 2025.

Materials and Methods. The methodology included analysis of 54 publications covering innovative approaches to diagnosis, treatment planning, and fabrication of high-precision prosthetic restorations using neural network models and machine learning algorithms.

Results. While AI-based image processing is well-established in medicine, dentistry is undergoing its own digital evolution driven by CAD/CAM technologies. A significant recent trend is the integration of AI. In prosthodontics, AI enables automation of routine procedures, paving the way for breakthroughs in diagnostic accuracy, treatment planning, and fabrication of both fixed and removable prostheses, ultimately elevating the quality of prosthetic rehabilitation.

Conclusions. Significant advantages of AI in prosthodontics were identified: automated treatment planning, optimization of key rehabilitation stages (efficient processing of CBCT images/3D scans, selection of restoration design/color, implant positioning), reducing treatment time without compromising accuracy. Algorithm refinement, enhanced precision, and development of novel data processing methods are required.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, neural networks, prosthodontics, dental prosthetics, dental implantation

The authors declare no conflict of interest.

Alexander E. IVANOV ORCID ID 0009-0000-8922-338X

Resident, Department of Prosthodontics, Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia,
aleksandr-9001@bk.ru

Alexander V. BRAGIN ORCID ID 0000-0002-8019-1075

Grand PhD in Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Prosthodontics, Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia
bragin-1963@yandex.ru

Yuri E. VERGUN ORCID ID 0009-0004-9335-1981

Chief Physician, Regional Dental Clinic, Tyumen, Russia
oblstoma2007@yandex.ru

Luiza M. KURATOVA ORCID ID 0000-0002-5791-583X

PhD in Medical Sciences, Associate Professor, Department of Prosthodontics, Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia
luizonchik@mail.ru

Ilya A. KURATOV ORCID ID 0000-0002-2469-8103

PhD in Medical Sciences, Associate Professor, Department of Prosthodontics, Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia
alliance-med@mail.ru

Correspondence address: Alexander E. IVANOV

10 Kazach'i Luga St., Tyumen, 625014, Russia
+7 (912) 381-36-14
aleksandr-9001@bk.ru

For citation:

Ivanov A.E., Bragin A.V., Vergun Yu.E., Kuratova L.M., Kuratov I.A.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PROSTHODONTICS (LITERATURE REVIEW). *Actual problems in dentistry*. 2025; 2: 11-19. (In Russ.)

© Ivanov A.E. et al., 2025

DOI: 10.18481/2077-7566-2025-21-2-11-19

Received 15.06.2025. Accepted 06.07.2025

Введение

Ортопедическая стоматология является разделом общей стоматологии о диагностике, профилактике и лечении аномалий и приобретенных дефектов, повреждений и деформаций органов зубочелюстной системы. Основное место в ортопедической реабилитации занимает протезирование, задачей которого является восстановление целостности зубного ряда и функций зубочелюстной системы [3].

Термин «искусственный интеллект» используется для описания созданного человеком инструмента, который имитирует когнитивные способности интеллекта человеческого разума, используя алгоритмы программного обеспечения. В теории ИИ возникла целая область, посвященная машинному обучению. В этой области разрабатываются методы, позволяющие системам ИИ автоматически учиться на примерах, приобретать опыт и предлагать более эффективные решения [6]. Глубокое обучение — подмножество методов машинного обучения, в которых применяются искусственные нейронные сети (ИНС), построенные на базе аналогии со структурой нейронов человеческого мозга. Иными словами, термин «глубокий» подразумевает наличие большого числа слоев в ИНС, но его интерпретация со временем менялась. Если еще четыре года назад считалось, что 10 слоев достаточно, чтобы называть сеть глубокой, то теперь глубокой обычно называется сеть, содержащая сотни слоев [2].

Актуальность

Нуждаемость в оказании ортопедической помощи растет, несмотря на развитие технологий. Рост продолжительности жизни населения закономерно приводит к увеличению распространенности частичной потери зубов. Так, диапазон распространенности данного заболевания варьируется от 44 до 100% [3]. В этом случае необходимы новые исследования в области эффективности существующих и перспективных методов лечения, совершенствования зубопротезной техники, анализа результатов и осложнений. Изыскание новых способов ортопедического лечения может быть связано с искусственным интеллектом в рамках национальной стратегии на период до 2030 г. [1]. Внедрение ИИ в протезирование поможет врачам-стоматологам-ортопедам повысить качество и точность изготовления ортопедических конструкций [9].

Цель работы — изучение научной литературы, опубликованной с 2017 по 2025 годы, для оценки потенциала ИИ в повышении эффективности и точности зубного и челюстно-лицевого протезирования.

Материалы и методы

Нами проведен обзор литературы о применении искусственного интеллекта в ортопедической стоматологии. Поиск осуществлялся в базах данных eLibrary, Google Scholar, Scopus, PubMed/MEDLINE, EBSCO-

host, Science Direct, а также в Web of Science (MEDLINE, WOS и KJD). Были включены статьи на русском и английском языках, опубликованные за период с 2017 по 2025 годы. Для поиска использовались ключевые слова, относящиеся к протезированию (например, «протезирование», «ортопедическая стоматология») и к ИИ (например, «искусственный интеллект», «машинное обучение», «глубокое обучение», «нейронные сети»). В результате было обнаружено и проанализировано 54 исследования. Анализ статей показал, что ИИ значительно расширил свои возможности в области протезирования. Особое внимание в исследовании уделялось методологическим аспектам проведения исследований.

Результаты и их обсуждение

Искусственные нейронные сети (ANN) и сверточные нейронные сети (CNN) — ключевые методы машинного обучения в искусственном интеллекте. Они имеют различные архитектурные принципы и применяются для решения определенных задач. ANN представляют собой многослойные структуры, где каждый нейрон одного слоя связан с нейроном другого слоя. Эти сети широко используются для анализа текста, классификации и прогнозирования [6].

В медицинской сфере ANN применяются для анализа клинических данных пациентов, таких как возраст, анамнез, генетическая предрасположенность и текущее состояние здоровья. Это позволяет оценивать риски развития стоматологических заболеваний, включая кариес, пародонтит и дезинтеграцию имплантатов. ANN также помогают выбрать материал для изготовления протезов, учитывая такие параметры, как нагрузка, износостойкость и биосовместимость. Кроме того, они разрабатывают планы лечения, учитывая клиническую картину [7, 50].

CNN — это тип нейронных сетей, который использует сверточные и пулинговые слои для обработки данных с пространственной структурой [23]. Основное преимущество CNN заключается в их способности анализировать медицинские изображения, включая рентгеновские снимки и панорамные изображения зубных рядов. Эти сети применяются для автоматического выявления патологий, таких как кариес и его осложнения, травматические повреждения зубов, пародонтит, кисты, опухоли. Кроме того, CNN способны выполнять сегментацию изображений, разделяя снимки на различные области, что необходимо для точного планирования стоматологических операций. CNN также используются для анализа 3D-сканов зубных рядов, что позволяет создавать высокоточные ортопедические конструкции, максимально соответствующие форме зубов пациента [50]. Мураев А. А. и соавт. в 2018 г. провели исследование, где нейронная сеть представляла точки на телерентгенограммы (ТРГ) головы в боковой проекции. На основе 80 снимков ТРГ был разработан алгоритм нейронной сети. Авторами было измерено время, которое потребовалось врачу и алгоритму ИНС для расстановки точек. Врачу для выполнения задачи

требовалось порядка 6–7 минут, нейросеть делала это менее чем за 2–3 минуты с учетом корректировки [4].

Генеративно-состязательная сеть (GAN) — это архитектура нейросетей, состоящая из двух конкурирующих компонентов: генератора и дискриминатора. Генератор создаёт искусственные данные (например, изображения или 3D-модели), пытаясь «обмануть» дискриминатор, а дискриминатор учится отличать сгенерированные данные от реальных. В процессе такого «соревнования» генератор постепенно улучшает качество выходных данных, а дискриминатор становится точнее в их оценке. Эта нейросеть также нашла применение в стоматологии, анализируя тысячи цифровых оттисков, она воссоздает анатомически правильную форму отсутствующих зубов на основе оставшегося зубного ряда. Это позволяет ускорить моделирование несъемных конструкций. Такие алгоритмы сокращают время ручной коррекции, минимизируют ошибки, связанные с человеческим фактором, повышают точность прилегания и окклюзионной интеграции [25].

1. Применение нейросетей в диагностике

Для успешного протезирования необходим комплексный подход: продуманная тактика, тщательная подготовка и точное выполнение всех этапов лечения и изготовления протезов, включая работу зубных техников. Один из способов применения ИИ в стоматологической диагностике — это обработка визуальных данных. Алгоритмы искусственного интеллекта анализируют рентгенологические изображения и фотографии зубов, десны и слизистой оболочки. Нейросети, специально обученные на обширных базах медицинских изображений, способны выявлять кариозные, эндодонтические поражения, а также признаки пародонтита с точностью до 90–95% [17]. Однако существуют некоторые ограничения: ИИ пока не может распознавать заболевания на ранней стадии из-за недостаточной детализации снимков. Diagnocat — сервис, основанный на искусственном интеллекте, для анализа рентгенологических изображений. Он ускоряет процесс выявления многих стоматологических заболеваний, что позволяет проводить точную диагностику и оперативно составлять план лечения, что особенно важно в ортопедической практике. Благодаря наличию различных опций каждый специалист может запросить рентгенологический отчет своего профиля. Эндодонтический отчет позволяет интерпретировать результаты компьютерной томографии (КТ) в направлении изучения особенностей корневой системы зубов, отражает количество и топографию корневых каналов, качество их пломбирования. Данная программа имеет ряд преимуществ: ограничивает спектр нозологий для дифференциальной диагностики, в том числе помогает обратить внимание врача-стоматолога на возможную редко встречающуюся патологию; интерпретация результатов удобна и для врача, и для пациента; есть облачное хранение для базы данных [8]. В работе Lee J. и соавт. показано, что точность нейросетевых моделей в определении типов имплантатов по рентгеновским

снимкам достигла уровня врачебной диагностики [34]. В ортопедической стоматологии применяются интраоральные и лабораторные методы сканирования. Цифровые оттиски, полученные с помощью внутриротовых сканеров, заменили традиционный метод получения слепков. Современные интраоральные устройства такие, как 3M True Definition, CEREC Omnicam и TRIOS, обеспечивают высокую точность (погрешность 10–50 мкм для единичных реставраций). Однако при сканировании протяженных дефектов зубных рядов возможны ошибки [5]. Исследования показывают, что интраоральные сканирующие системы (ИОС) сопоставимы по точности с лабораторными сканерами при сканировании небольших дефектов, но уступают им при сканировании больших. Park и соавторы подтвердили, что лабораторные сканеры превосходят интраоральные в точности при изготовлении протяженных ортопедических конструкций, в том числе с опорой на имплантатах [41]. Кроме того, внутриротовые сканеры чувствительны к условиям полости рта, таким как влажность, кровоточивость и подвижность мягких тканей. Лабораторные сканеры лишены этих недостатков, но зависят от качества оттисков [5, 19, 39]. Интеграция искусственного интеллекта (ИИ) в процесс создания цифровых оттисков в стоматологии значительно повышает точность и достоверность сканирования за счет снижения деформаций зубной дуги. Кроме того, алгоритмы ИИ мгновенно идентифицируют границы препарирования, уменьшая необходимость ручной коррекции. ИИ способны устранять шумы и артефакты на сканах, улучшая детализацию [22, 27].

Исследование Chen et al. демонстрирует значительный прогресс в применении генеративно-состязательных сетей (GAN). Результаты показывают, что устранение артефактов в исходных данных (в том числе, и томограммах) с помощью GAN повышает точность ИИ-планирования до 94%, что свидетельствует о высокой диагностической эффективности метода [19].

2. Применение искусственного интеллекта в несъемном протезировании

Системы автоматизированного проектирования и автоматизированного производства (CAD/CAM) технологии позволяют разрабатывать индивидуальные коронки на основе анализа многочисленных клинических случаев. ИИ предлагает оптимальные формы коронок, мостовидных протезов или виниров, учитывая анатомию зубов пациента и особенности прикуса. Нейросети подбирают оптимальные материалы для непрямых реставраций, учитывая функциональную нагрузку, эстетику и биосовместимость. Кроме того, алгоритмы проверяют прецизионность изготовленных конструкций, сравнивают 3D-модель с исходными сканами и выявляют отклонения [13].

3D-сканирование лица и конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) стали незаменимыми в проектировании гармоничной улыбки. Они дают

возможность точно воссоздавать анатомические особенности пациента, что служит фундаментом для планирования эстетической реабилитации. В отличие от прошлых методов, когда дизайн улыбки разрабатывался на основе плоскостных изображений, современные решения обеспечивают более точное и детализированное моделирование [32].

В ортопедической стоматологии искусственный интеллект играет ключевую роль в повышении точности определения границ будущих реставраций. В нескольких исследованиях были разработаны системы на основе глубокого обучения для автоматического выявления финишной линии препарированных зубов [18, 22, 38, 42]. Результаты этих разработок подтверждают перспективность ИИ-технологий для совершенствования стоматологического лечения и необходимость их клинического внедрения [45].

Для оптимизации выбора оттенков будущей конструкции применяются технологии искусственного интеллекта (ИИ), которые демонстрируют высокую точность цветопередачи по сравнению с традиционными методами. Исследования показывают, что ИИ может эффективно заменить устаревшие инструменты, обеспечивая более точный подбор цветов. Для автоматизации процесса подбора оттенков применяются нейронные сети, которые позволяют зубным техникам быстро и точно определять цвет зубов по фотографии [31].

3. Применение ИИ в протезировании с опорой на дентальные имплантаты

В современной стоматологической практике наблюдается увеличение доли реабилитаций с использованием дентальных имплантатов. В работе Lee J. H. изучалась возможность автоматической дифференциации трех имплантационных систем с помощью CNN на основе мультимодальных рентгенологических изображений. В исследовании достоверность классификации соответствовала заключениям стоматологов, подтверждая клиническую применимость метода [34, 35].

В исследовании Lerner et al. предложен алгоритм машинного обучения для автоматизированного определения поддесневой границы абатмента при изготовлении коронок из диоксида циркония. На выборке из 106 имплантатов применение ИИ позволило достичь 3-летней выживаемости конструкций на уровне 91% и клинической успешности 93%, а также снизить количество технических ошибок [36].

Zhicong Chen et al. создали программное обеспечение для планирования имплантации с помощью ИИ, способное определять правильное ортопедическое положение имплантата с помощью хирургического шаблона. Точность хирургического шаблона, разработанного с помощью нейросети, свидетельствует о его клинической надежности [54].

Ключевым достижением ИИ в имплантологии является минимизация ошибок на этапах позиционирования имплантатов и окклюзионной коррекции.

Согласно исследованию Elgarba B. M. et al., автоматизированное планирование дентальных имплантатов с использованием ИИ-модели демонстрирует сравнимую эффективность с традиционным стоматологическим подходом. Ученые провели детальную оценку и сравнение ИИ-генерированных и «ручных» планов лечения для каждого случая. Полученные данные свидетельствуют, что искусственный интеллект способен обеспечивать клинически значимые результаты, аналогичные экспертной оценке, при работе с конкретной имплантационной системой. Важным преимуществом ИИ-решений авторы называют высокую скорость работы и стабильность результатов по сравнению с классическим планированием [16].

В исследовании Cavalcante F. R. и коллег оценивалась эффективность свёрточных нейронных сетей (CNN) в анализе анатомии верхней челюсти. Ученые сравнили точность и скорость автоматизированной и ручной сегментации на 141 компьютерной томограмме. Результаты показали, что CNN-алгоритм обеспечил клинически значимую точность при выделении альвеолярного гребня и кортикальной пластинки, сократив время обработки в 116 раз по сравнению с ручным методом. Такой результат делает CNN перспективной технологией для оптимизации предоперационного планирования, особенно при дефиците времени [37].

Первичная стабильность имплантата, достигаемая во время хирургической установки, является ключевым условием успешной остеоинтеграции. Как свидетельствуют исследования, этот показатель тесно связан с техникой препарирования кости и биомеханическими свойствами костной ткани, в частности её минеральной плотностью. В последнее время научный интерес сместился в сторону создания алгоритмизированных протоколов имплантации с использованием искусственного интеллекта [43]. В частности, Takahiko S. и соавт. разработали нейросетевую модель, которая на основе анализа 960 аксиальных КЛКТ-срезов, показала сопоставимую с экспертами точность в прогнозировании параметров остеотомии [49]. Дальнейшие исследования Chen Z. с коллегами [20] в условиях *in vitro* подтвердили клиническую применимость данного ИИ-подхода, продемонстрировав его высокую воспроизводимость.

4. Применение ИИ в съёмном протезировании

Takahashi T. и соавторы разработали CNN-алгоритм для автоматической классификации зубных дуг, который может использоваться на начальном этапе проектирования частичных съёмных протезов. Валидационные тесты показали исключительно высокую точность метода. Исследователи отмечают, что применение подобных технологий машинного обучения создает основу для создания комплексных ИИ-систем, способных оптимизировать все этапы цифрового протезирования [49].

Современные исследования [21, 51] представили инновационные алгоритмы машинного обучения,

способные прогнозировать изменения лицевых структур у пациентов с частичным отсутствием зубов. В работе использовались клинические данные Пекинского университета, включавшие 48 пар 3D-моделей лица, полученных до и после протезирования. Высокоточное сканирование выполнялось на системе 3D-SHAPE Face Scan (разрешение 0,1 мм), что обеспечило детальную визуализацию мягких тканей и зубных рядов. Основным методологическим прорывом стало применение PCA-анализа для моделирования кожных деформаций после восстановления вертикальных параметров нижней трети лица. Разработанная интерактивная платформа с PCA-алгоритмом позволила оперативно корректировать прогноз с учётом индивидуальных анатомических особенностей. Точность прогнозирования изменений нижней трети лица достигла 89,4%, что подтвердило клиническую значимость метода.

Новое исследование оценило эффективность четырех популярных CNN-архитектур (ResNet-50, VGG-16, Inception-v³ и EfficientNet-B4) для автоматической классификации семи типов клинических случаев. Разрабатываемый ИИ-модуль призван усовершенствовать процесс создания зубных протезов путём автоматического определения сложности случая (классы I–VII, где класс I: простой случай, класс VII — сложный) и комплексного анализа мультимодальных данных: анатомии зубного ряда, межальвеолярной высоты, степени атрофии костной ткани. Эта технология закладывает фундамент для инновационных CAD/CAM-решений, сочетающих интеллектуальный дизайн и индивидуальный подбор материалов [26].

5. Применение ИИ в челюстно-лицевом протезировании

Применение искусственного интеллекта в диагностике и лечении врождённых расщелин губы и неба (ВРГН) вызывает растущий интерес научного сообщества, что подтверждается увеличением числа публикаций по данной теме [12, 40, 48, 53]. Современные алгоритмы машинного обучения успешно используются для прогнозирования рисков возникновения ВРГН на основе анализа геномных и эпидемиологических данных, а также для автоматического выявления аномалий как в пренатальной диагностике по ультразвуковым изображениям, так и в постнатальный период при обработке фотометрических данных. Однако ключевой проблемой остается отсутствие надежных методов визуализации неба плода в рутинной клинической практике. Для решения этой задачи требуются специализированные алгоритмы компьютерного зрения, способные анализировать низкоконтрастные ультразвуковые изображения с высокой чувствительностью и обеспечивать скорость обработки не более 50 мс на кадр для интеграции в ультразвуковые аппараты в реальном времени. Разработанный алгоритм успешно преодолевает ограничения, связанные с зашумленностью ультразвуковых данных, за счет анализа текстурных градиентов и пространственных

зависимостей, что позволяет восстанавливать структуру неба с высокой точностью до 0,2 мм (RMSE). Этот инновационный подход открывает новые возможности для ранней и точной диагностики врожденных аномалий развития челюстно-лицевой области [29].

Челюстно-лицевая реабилитация призвана восстанавливать утраченные ткани и структуры, корректируя функциональные нарушения и эстетические недостатки, возникшие вследствие травм, врождённых аномалий или приобретённых заболеваний. В одном исследовании [52] разработана методика автоматизированного подбора цвета зубных протезов. Тестирование алгоритма подтвердило его способность точно имитировать естественные оттенки кожных покровов и слизистых оболочек. Внедрение этой технологии в CAD/CAM-системы обеспечивает сокращение времени на ручную цветокоррекцию на 40–60% при сохранении высоких эстетических показателей.

Внедрение искусственного интеллекта в предоперационную подготовку младенцев с двусторонней расщелиной губы и неба открывает перспективные возможности для совершенствования методики назоальвеолярного молдинга (NAM). Классический протокол, предполагающий еженедельные коррекции, повторное снятие оттисков и изготовление новых пластин требует значительных временных и ресурсных затрат. В исследовании Bauer et al. представлен автоматизированный подход, основанный на 3D-моделировании альвеолярной дуги с применением эллиптической аппроксимации, который позволяет создавать индивидуальные внутриротовые пластины NAM без многоэтапных процедур. Алгоритм демонстрирует высокую точность прогнозирования роста альвеолярного отростка с отклонением не более 5%, а его интеграция в CAD/CAM-системы обеспечивает изготовление ортопедических конструкций за один этап, что существенно сокращает сроки лечения и минимизирует риски, связанные с ручным моделированием [46].

6. Применение ИИ в области материаловедения

Прогностические модели, созданные на основе искусственных нейронных сетей (ИНС), показали высокую эффективность в оценке физико-механических свойств стоматологических реставраций. В одном исследовании алгоритмы ИНС применялись для прогнозирования шероховатости поверхности и микротвердости протезов, причём экспериментальные результаты продемонстрировали тесную корреляцию с предсказаниями нейросетей [24].

Аналогичные успехи были достигнуты при анализе CAD/CAM-изготовленных композитных блоков: модели ИНС точно прогнозировали прочность на изгиб и устойчивость к отслаиванию коронок из композитных смол [28]. Гибридные композиты на основе гидроксиапатита (ГАП) и диоксида циркония (ZrO₂) активно используются в имплантологии, в частности в качестве покрытий для улучшения остеоинтеграции имплантатов [47]. Биоактивные свойства ГАП, особенно при нанесении методом плазменного напыления,

снижают риск отторжения, что делает их ценными для реконструктивной стоматологии и ортопедии. В работе Arif et al. [15] представлена ИНС-модель, прогнозирующая износостойкость гибридных композитов. Обученная на 120 экспериментальных образцах, она предсказывает износ композитов Al/9% ZrO₂ с точностью до 96%. Полученные данные свидетельствуют, что искусственный интеллект может стать важным инструментом для изучения физических свойств материалов при условии подтверждения его точности и воспроизводимости в дальнейших исследованиях.

7. Ограничения и этические соображения

Несмотря на заметные достижения в области искусственного интеллекта, его внедрение в ортопедическую стоматологию по-прежнему сталкивается с рядом методологических и практических сложностей. Например, при создании коронок из дисиликата лития ИИ-системы уступают традиционному CAD-моделированию по ключевым показателям [44].

Критические ошибки, такие как некорректная обработка КЛКТ-данных или перегрузка алгоритмов, могут привести к серьезным погрешностям при разработке протезов. Кроме того, эффективность ИИ-моделей сильно зависит от качества обучающих данных: наличие артефактов в 3D-сканах (15–20% случаев) снижает точность прогнозов на 30–40% [33].

Отдельную проблему представляют правовые риски — неопределённость ответственности за ошибки ИИ, а также угрозы конфиденциальности (утечка DICOM-данных зафиксирована в некоторых медицинских учреждениях [23]). Для преодоления этих ограничений необходим совместный подход с участием программистов, клиницистов и специалистов по биоэтике [10, 11]. Только при условии решения вопросов воспроизводимости результатов, обеспечения безопасности данных и создания чётких регуляторных стандартов ИИ сможет стать неотъемлемой частью клинической практики в протезировании.

Заключение и выводы

Внедрение технологий искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) в стоматологию революционизирует клинические подходы к диагностике, планированию лечения и проектированию ортопедических конструкций. Эти технологии показывают значительные успехи в оптимизации этапов реабилитации, таких как выбор типа протеза, моделирование кламмеров, проектирование коннекторов и определение позиции имплантатов. В условиях увеличения объёмов разнородных данных (например, КЛКТ-снимков, 3D-сканов, фотограмметрии) ИИ-алгоритмы автоматизируют обработку информации, сокращая время планирования без ущерба точности [7, 30].

Одним из ключевых направлений применения ИИ в ортопедической стоматологии является анализ медицинских изображений. Современные свёрточные нейронные сети (CNN) демонстрируют высокую диагностическую эффективность (чувствительность 92–97%) при выявлении кариеса, вертикальных переломов корней и пародонтологических патологий на рентгенограммах [14]. Алгоритмы сегментации позволяют точно идентифицировать анатомические структуры и оценивать плотность костной ткани для планирования имплантации [30]. В CAD/CAM-системах ИИ автоматизирует подбор цвета керамических реставраций с минимальным отклонением [44], а также оптимизирует дизайн съёмных протезов, снижая частоту поломок на 25% [17]. Кроме того, нейросети синхронизируют данные КЛКТ и внутриротовых сканеров, создавая цифровые артикуляторы с высокой точностью движений [53].

Исследования показывают, что внедрение искусственного интеллекта в сферу протезирования значительно улучшает качество лечения. Однако для дальнейшего прогресса в этой области необходимо совершенствовать алгоритмы, повышать их точность и эффективность, а также совершенствовать правовую базу применения ИИ, что в совокупности позволит ИНС вывести ортопедическое лечение на принципиально новый уровень.

Литература/References

1. Незнамов А. В. Правовые аспекты реализации национальной Стратегии развития искусственного интеллекта до 2030 года. Вестник Университета имени О. Е. Кутафина. 2019; (12):82–88. [Neznamov A. V. Legal aspects of the implementation of the National strategy for the development of artificial intelligence until 2030. Courier of the Kutafin Moscow State Law University. 2019; (12):82–88. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41880086>
2. Линдигрин А. Н. Искусственные нейронные сети как основа глубинного обучения. Известия ТулГУ. Технические науки. 2019; (12):468–472. [Lindigrin A. N. Deep learning technologies in neural networks. Izvestia Tula'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki. 2019; (12):468–472. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=41746234>
3. Ругина И. А. Анализ изменений практики стоматологического ортопедического лечения и его результатов в регионах России за 10-летний период; диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. Москва; 2022. 158 с. [Rugina I. A. Analysis of changes in the practice of dental orthopedic treatment and its results in the regions of Russia over a 10-year period; dissertation for the degree of Candidate of Medical Sciences. Moscow; 2022. 158 p. (In Russ.)].
4. Мураев А. А., Кибардин И. А., Оборотистов Н. Ю., Иванов С. С., Иванов С. Ю., Персин Л. С. Использование нейросетевых алгоритмов для автоматизированной расстановки цефалометрических точек на телерентгенограммах головы в боковой проекции. Российский электронный журнал лучевой диагностики. 2018;8 (4):16–22. [Muraev A. A., Kibardin I. A., Oborotistov N. Yu., Ivanov S. S., Ivanov S. Yu., Persin L. S. Use of neural network algorithms for the automated arrangement of cephalometric markers on lateral cefalograms. Russian Electronic Journal of Radiology. 2018;8 (4):16–22. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36766125>
5. Коломийцева Е. К., Манафова А. В. Сравнение внутриротовых цифровых сканеров в ортопедической стоматологии. В: СБОРНИК ТЕЗИСОВ 83-ей межрегиональной научно-практической конференции с международным участием студенческого научного общества им. профессора Н. П. Пятницкого; Краснодар; 27–28 апреля 2022 года. Краснодар: Федеральное государственное бюджетное образовательное высшего образования «Кубанский государственный университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 2022. С. 821–823. [Kolomitseva E. K., Manafova A. V. Comparison of intraoral digital scanners in prosthodontics. In: COLLECTION OF ABSTRACTS OF THE 83rd interregional scientific and practical conference with international participation of the Student Scientific Society named after Professor N. P. Pyatnitsky; Krasnodar; April 27–28, 2022. Krasnodar: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kuban State University» of the Ministry of Health of the Russian Federation; 2022. P. 821–823. (In Russ.)].
6. Потеев Н. Н., Доля О. В., Фриго Н. В., Атабиева А. Я., Майорова Е. М. Искусственный интеллект в медицине. Общие положения. Философские аспекты. Клиническая дерматология и венерология. 2022;21 (6):749–756. [Potekaev N. N., Dolya O. V., Frigo N. V., Atabieva A. Y., Mayorova E. M. Artificial intelligence in healthcare: general considerations and philosophical aspects. Russian Journal of Clinical Dermatology and Venereology. 2022;21 (6):749–756. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/klinderma.202221061749>
7. Симаква А. А., Горбатова М. А., Русанов Д. С., Карякин А. А., Гржибовский А. М. Применение искусственных нейронных сетей в практике врача-ортодонта: обзор российских исследований за период 2013–2023. Вестник новых медицинских технологий. 2024;18 (4):24–35. [Simakova A. A., Gorbatova M. A., Rusanov D. S., Karyakin A. A.,

- Grzhibovsky A. M. Application of artificial neural networks in orthodontic practice: a review of russian studies for the period 2013–2023. *Journal of New Medical Technologies*. 2024;18 (4):24–35. (In Russ.). <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=69158660>
8. Стожаров П. А., Ермолаев Г. А., Стожарова Л. П., Вольмурадов Э. В. Искусственный интеллект в стоматологии на примере программы Diagnocat. В: Актуальные вопросы стоматологии: сборник научных трудов, посвященный основателю кафедры ортопедической стоматологии КГМУ, профессору Исааку Михайловичу Оксману; Казань: 13 марта 2024 года. Казань: Казанский государственный медицинский университет; 2024. С. 907–909. [Stozharov P. A., Ermolaev G. A., Stozharova L. P., Vol'muradov E. V. In: Topical issues of dentistry: a collection of scientific papers dedicated to the founder of the Department of Orthopedic Dentistry at KSMU, Professor Isaac Mikhailovich Oxman; Kazan; March 13, 2024. Kazan: Kazan State Medical University; 2024. P. 907–909. (In Russ.).] <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68643065>
9. Тимофеев Д. Е. Совершенствование деятельности стоматологических ортопедических отделений, использующих современные технологии: диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук; 14.01.14; 14.02.03. Москва; 2020. 192 с. [Timofeev D. E. Improving the activities of dental orthopedic departments using modern technologies; dissertation for the degree of Candidate of Medical Sciences; 14.01.14; 14.02.03. Moscow; 2020. 192 p. (In Russ.).]
10. Шайдуров А. С. Проблема ответственности за действия автономных систем искусственного интеллекта в РФ: юридические и этические вызовы. Вектор научной мысли. 2024; (6):507–509. [Shaidurov A. S. The problem of responsibility for the actions of autonomous artificial intelligence systems in the RF: legal and ethical challenges. *Vektor naučnoj mysli*. 2024; (6):507–509. (In Russ.).] <https://elibrary.ru/item.asp?id=69027624>
11. Хаддур З. А. Искусственный интеллект и права человека: юридическая и этическая ответственность за ущерб, причиненный технологиями искусственного интеллекта. Право и управление. 2023; (3):18–23. [Khaddour Z. A. Artificial intelligence and human rights: legal and ethical liability for damage caused by artificial intelligence technologies. *Law and management*. 2023; (3):18–23. (In Russ.).] <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53950411>
12. Alam M. K., Alfawzan A. A. Dental characteristics of different types of cleft and non-cleft individuals. *Frontiers in cell and developmental biology*. 2020;8:789. <https://doi.org/10.3389/fcell.2020.00789> PMID:32984313
13. Aljulaifi I. S., Almatrafi A. H., Althubaitiy R. O., Alnafisah F., Alshehri K., Alzahrani B. et al. The Potential of Artificial Intelligence in Prosthodontics: A Comprehensive Review. *Medical science monitor*. 2024;30: e944310. <https://doi.org/10.12659/MSM.944310>
14. Alshadidi A. A. F., Alshahran A. A., Aldosari L. I. N., Chaturvedi S., Saini R. S., Hassan S. A. B. et al. Investigation on the Application of Artificial Intelligence in Prosthodontics. 2023;13 (8):5004. <https://doi.org/10.3390/app13085004>
15. Arif S., Alam M. T., Ansari A. H., Shaikh M. B. N., Siddiqui M. A. Analysis of tribological behaviour of zirconia reinforced Al-SiC hybrid composites using statistical and artificial neural network technique. *Materials Research Express*. 2018;5 (5):056506. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aabec8>
16. Elgarba B. M., Fontenele R. C., Mangano F., Jacobs R. Novel AI-based automated virtual implant placement: Artificial versus human intelligence. *Journal of Dentistry*. 2024;147:105146. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105146>
17. Bernauer S. A., Zitzmann N. U., Joda T. The Use and Performance of Artificial Intelligence in Prosthodontics: A Systematic Review. *Sensors*. 2021;21 (19):6628. <https://doi.org/10.3390/s21196628>
18. Bernauer S. A., Müller J., Zitzmann N. U., Joda T. Influence of Preparation Design, Marginal Gingiva Location, and Tooth Morphology on the Accuracy of Digital Impressions for Full-Crown Restorations: An In Vitro Investigation. *Journal of clinical medicine*. 2020;9 (12):3984. <https://doi.org/10.3390/jcm9123984>
19. Chen Y., Du H., Yun Z., Yang S., Dai Z., Zhong L. et al. Automatic Segmentation of Individual Tooth in Dental CBCT Images From Tooth Surface Map by a Multi-Task FCN. *IEEE Access*. 2020;8:97296–97309. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2991799>
20. Chen Z., Liu Y., Liu Y., Xie X., Deng F. Influence of bone density on the accuracy of artificial intelligence – guided implant surgery: An in vitro study. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2024;131 (2):254–261. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022391321004145>
21. Cheng C., Cheng X., Dai N., Tang T., Xu Z., Cai J. Facial morphology prediction after complete denture restoration based on principal component analysis. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*. 2019;9 (3):241–250. <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2019.06.002>
22. Choi J., Ahn J., Park J. M. Deep learning-based automated detection of the dental crown finish line: An accuracy study. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2024;132 (6):1286.e1–1286.e9. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.11.018>
23. Currie G. Intelligent imaging: Anatomy of machine learning and deep learning. *Journal of nuclear medicine technology*. 2019;47 (4):273–281. <https://doi.org/10.2967/jnm.119.232470>
24. Deniz S. T., Ozkan P., Ozkan G. The accuracy of the prediction models for surface roughness and micro hardness of denture teeth. *Dental Materials Journal*. 2019;38 (6):1012–1018. <https://doi.org/10.4012/dmj.2018-014>
25. Ding H., Wu J., Zhao W., Matinlinna J. P., Burrow M. F., Tsoi J. K. H. Artificial intelligence in dentistry. *Frontiers in Dental Medicine*. 2023;4:1085251. <https://doi.org/10.3389/fdmed.2023.1085251>
26. Ali I. E., Sumita Y., Wakabayashi N. Advancing maxillofacial prosthodontics by using pre-trained convolutional neural networks: Image-based classification of the maxilla. *Journal of prosthodontics*. 2024;33 (7):645–654. <https://doi.org/10.1111/jopr.13853>
27. Róth I., Géczi Z., Végh D. C., Hegedüs T., Pál A., Hermann P. et al. The role of artificial intelligence in intraoral scanning for complete-arch digital impressions: An in vitro study. *Journal of Dentistry*. 2025;156:105717. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2025.105717>
28. Gameda B. A., Sinha D. K., Mengesha G. A., Gautam S. S. Optimization of porosity behavior of hybrid reinforced titanium metal matrix composite through RSM, ANN, and GA for multi-objective parameters. *Journal of Engineering and Applied Science*. 2024;71:116. <https://doi.org/10.1186/s44147-024-00436-4>
29. Jurek J., Wójciewicz W., Wójciewicz A. Syntactic pattern recognition-based diagnostics of fetal palates. *Pattern Recognition Letters*. 2020;133:144–150. <http://dx.doi.org/10.1016/j.patrec.2020.02.023>
30. Joda T., Gallucci G., Wismeijer D., Zitzmann N. Augmented and virtual reality in dental medicine: A systematic review. *Computers in biology and medicine*. 2019;108:93–100. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2019.03.012>
31. Lee J. H., Kim H. K. A comparative study of shade-matching performance using intraoral scanner, spectrophotometer, and visual assessment. *Scientific Reports*. 2024;14 (1):23640. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-74354-z>
32. Kong H. J., Kim Y. L. Application of artificial intelligence in dental crown prosthesis: a scoping review. *BMC Oral Health*. 2024;24 (1):937. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04657-0>
33. Nagata K., Inoue E., Nakashizu T., Seimiya K., Atsumi M., Kimoto K. et al. Verification of the accuracy and design time of crowns designed with artificial intelligence. *The Journal of Advanced Prosthodontics*. 2025;17 (1):1–10. <https://doi.org/10.4047/jap.2025.17.1.1>
34. Lee J. H., Jeong S. N. Efficacy of deep convolutional neural network algorithm for the identification and classification of dental implant systems, using panoramic and periapical radiographs: A pilot study. *Medicine*. 2020;99 (26):e20787. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000020787>
35. 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. *Oral diseases*. 2020;26 (1):152–158. <https://doi.org/10.1111/odi.13223>
36. Lerner H., Mouhyi J., Admakin O., Mangano F. Artificial intelligence in fixed implant prosthodontics: A retrospective study of 106 implant-supported monolithic zirconia crowns inserted in the posterior jaws of 90 patients. *BMC Oral Health*. 2020;20 (1):80. <https://doi.org/10.1186/s12903-020-1062-4>
37. Macri M., D'Albis V., D'Albis G., Forte M., Capodiferro S., Favia G. et al. The Role and Applications of Artificial Intelligence in Dental Implant Planning: A Systematic Review. *Bioengineering*. 2024;11 (8):778. <https://doi.org/10.3390/bioengineering11080778>
38. Mai H. N., Han J. S., Kim H. S., Park Y. S., Park J. M., Lee D. H. Reliability of automatic finish line detection for tooth preparation in dental computer-aided software. *Journal of prosthodontic research*. 2023;67 (1):138–143. https://doi.org/10.2186/jpr.JPR_D_21_00344
39. Mangano F., Gandolfi A., Luongo G., Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. *BMC Oral Health*. 2017;17 (1):149. <https://doi.org/10.1186/s12903-017-0442-x>
40. Machado R. A., de Oliveira Silva C., Martelli-Junior H., das Neves L. T., Coletta R. D. Machine learning in prediction of genetic risk of nonsyndromic oral clefts in the Brazilian population. *Clinical oral investigations*. 2021;25 (3):1273–1280. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03433-y>
41. Oh K. C., Park J. M., Moon H. S. Effects of Scanning Strategy and Scanner Type on the Accuracy of Intraoral Scans: A New Approach for Assessing the Accuracy of Scanned Data. *Journal of prosthodontics*. 2020;29 (6):518–523. <https://doi.org/10.1111/jopr.13158>
42. Revilla-León M., Gómez-Polo M., Vyas S., Barmak A. B., Özcan M., Att W. et al. Artificial intelligence applications in restorative dentistry: A systematic review. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2022;128 (5):867–875. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.02.010>
43. Sakai T., Li H., Shimada T., Kita S., Iida M., Lee C. et al. Development of artificial intelligence model for supporting implant drilling protocol decision making. *Journal of prosthodontic research*. 2023;67 (3):360–365. https://doi.org/10.2186/jpr.JPR_D_22_00053
44. Saravi B., Vollmer A., Hartmann M., Lang G., Kohal R.-J., Boeker M. et al. Clinical performance of CAD/CAM All-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses: A systematic review and meta-analysis. *Materials (Basel)*. 2021;14 (10):2672. <https://doi.org/10.3390/ma14102672>
45. Sawangsi K., Bekkali M., Lutz N., Alrashed S., Hsieh Y. L. et al. Acceptability and deviation of finish line detection and restoration contour design in single-unit crown: Comparative evaluation between 2 AI-based CAD software programs and dental laboratory technicians. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2025; S0022-3913 (25) 00286-0. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2025.03.037>
46. Schiebl J., Bauer F. X., Grill F., Loeffelbein D. J. RapidNAM: algorithm for the semi-automated generation of nasoalveolar molding device designs for the presurgical treatment of bilateral cleft lip and palate. *IEEE transactions on bio-medical engineering*. 2020;67 (5):1263–1271. <https://doi.org/10.1109/tbme.2019.2934907>

47. Singh J., Singh S., Verma A. Artificial intelligence in use of ZrO₂ material in biomedical science. *Journal of Electrochemical Science and Engineering*. 2025;13 (1):83–97. <https://doi.org/10.5599/jese.1498>
48. Shafi N., Bukhari F., Iqbal W., Almustafa K. M., Asif M., Nawaz Z. Cleft prediction before birth using deep neural network. *Health informatics journal*. 2020;26 (4):2568–2585. <https://doi.org/10.1177/1460458220911789>
49. Takahashi T., Nozaki K., Gonda T., Ikebe K. A system for designing removable partial dentures using artificial intelligence. Part 1. Classification of partially edentulous arches using a convolutional neural network. *Journal of Prosthodontic Research*. 2021;65 (1):115–118. https://doi.org/10.2186/jpr.JPOR_2019_354
50. Wang X., Alqahtani K. A., Van den Bogaert T., Shujaat S., Jacobs R., Shaheen E. Convolutional neural network for automated tooth segmentation on intraoral scans. *BMC Oral Health*. 2024;24 (1):804. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04582-2>
51. Yuan F., Cheng C., Dai N., Sun Y. Prediction of aesthetic reconstruction effects in edentulous patients. *Scientific reports*. 2017;7 (1):18077. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17065-y>
52. Mine Y., Suzuki S., Eguchi T., Murayama T. Applying deep artificial neural network approach to maxillofacial prostheses coloration. *Journal of Prosthodontic Research*. 2020;64 (3):296–300. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2019.08.006>
53. Zhang S. J., Meng P., Zhang J., Jia P., Lin J., Wang X. et al. Machine learning models for genetic risk assessment of infants with non-syndromic orofacial cleft. *Genom Proteom Bioinform*. 2018;16 (5):354–364. <https://doi.org/10.1016/j.gpb.2018.07.005>
54. Chen Z., Liu Y., Liu Y., Xie X., Deng F. Influence of bone density on the accuracy of artificial intelligence – guided implant surgery: An in vitro study. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2024;131 (2):254–261. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022391321004145>