

Система поддержки принятия врачебных решений по выбору конструкции дентального имплантата с использованием машинного обучения

А. А. Кийко¹✉, А. Н. Николаенко¹, М. А. Постников¹, Н. В. Попов¹,
А. Д. Лысов², А. Е. Пономарев¹, Е. В. Заров¹

¹ Самарский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения
Российской Федерации
ул. Чапаевская, д. 89, г. Самара 443099, Российская Федерация

² Медицинский университет «Реавиз»
ул. Чапаевская, д. 227, г. Самара 443001, Российская Федерация

✉ e-mail: pavlova_163@mail.ru

Резюме

Цель исследования. Актуальной задачей цифровой дентальной имплантации является выбор и проектирование конструкции параметризованного имплантата с учетом объема и качества костной ткани в зоне имплантации, плотности и строения кости, планируемой протезной конструкции и других факторов. Цель исследования – разработка системы поддержки принятия врачебных решений с элементами искусственного интеллекта для выбора и проектирования конструкции параметризованного дентального имплантата.

Методы. В результате анализа особенностей установки имплантата и логики поддержки принятия решений в состав соответствующего программного комплекса были включены компоненты базы знаний и машинного обучения. Реализация базы знаний выполнена в виде компьютерной онтологии и содержит правила, выстроенные в типовой последовательности обработки данных. Технология искусственного интеллекта использована на этапе определения плотности трабекулярной кости и классификации по типу костной ткани путем анализа снимков конусно-лучевой компьютерной томографии пациента с помощью нейронной сети.

Результаты. В эксперименте в качестве исходных изображений были использованы снимки компьютерной томографии нижней челюсти с различным разрешением, размеченные предварительно по группам плотности костной ткани, по 30 снимков в каждой группе (всего 120 случаев). Наилучшие результаты показала модель остаточной нейронной сети ResNet 34. Модель достигла 0,875 точности на валидационной выборке и 0,75 точности на тестовой выборке при значении функции потерь около 0,72. Таким образом, можно сделать вывод о положительной возможности применения технологии машинного обучения.

Заключение. Основным научным результатом исследования является обобщение в рамках единого комплекса технологий визуализации технических решений совместно с базой знаний в виде компьютерной онтологии и модуля машинного обучения в соответствии с принципами персонализированной медицины. Предложенный гибридный подход, сочетающий экспертные правила с методами машинного обучения, позволяет объединить достоинства двух парадигм: формализованного клинического опыта и адаптивного выявления скрытых закономерностей.

Ключевые слова: цифровая стоматология; поддержка принятия врачебных решений; онтология; персонализированная медицина.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Система поддержки принятия врачебных решений по выбору конструкции дентального имплантата с использованием машинного обучения / А. А. Кийко, А. Н. Николаенко, М. А. Постников, Н. В. Попов, А. Д. Лысов, А. Е. Пономарев, Е. В. Заров // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2026. Т. 16, № 1. С. 174–188. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2026-16-1-174-188>

Поступила в редакцию 29.01.2026

Подписана в печать 28.02.2026

Опубликована 31.03.2026

Clinical decision-making support system for dental implant design using machine learning

Anastasia A. Kijko¹ ✉, Andrey N. Nikolaenko¹, Mikhail A. Postnikov¹,
Nikolay V. Popov¹, Alexander D. Lysov², Artem E. Ponomarev¹, Evgeniy V. Zarov¹

¹ Samara State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation
89 Chapayevskaya Str., Samara 443099, Russian Federation

² Medical University "REAVIZ"
227 Chapayevskaya Str., Samara 443001, Russian Federation

✉ e-mail: pavlova_163@mail.ru

Abstract

Purpose of research. A current challenge in digital dental implantation is the selection and design of a parametric implant, taking into account the volume and quality of bone tissue in the implantation area, bone density and structure, the planned prosthetic structure, and a number of other factors. The purpose of the study is to develop a medical decision-making support system with Artificial Intelligence for selection and design of a parametric dental implant.

Methods. As a result of the analysis of the features of the implant installation and decision support logic, knowledge base and machine learning components were included in the corresponding software package. The implementation of the knowledge base is made in the form of a computer ontology and contains rules arranged in a typical sequence of data processing. Artificial intelligence technology is used at the stage of determining the density of the trabecular bone and classifying it by bone type by analyzing the patient's cone beam computed tomography images using a neural network.

Results. In the experiment, computed tomography images of the lower jaw with different resolutions were used as initial images, pre-marked by bone density groups, 30 images in each group (120 cases in total). The best results were shown by the residual neural network model ResNet 34. The model achieved 0.875 accuracy on the validation sample and 0.75 accuracy on the test sample with a loss function value of about 0.72. Thus, we can conclude about the positive possibility of using machine learning technology.

Conclusion. The main scientific result of the study is the generalization of technical solutions within a unified set of visualization technologies, combined with a knowledge base in the form of computer ontology and a machine learning module, in accordance with the principles of personalized medicine. The proposed hybrid approach, combining expert rules with machine learning methods, combines the advantages of two paradigms: formalized clinical experience and adaptive detection of hidden patterns.

Keywords: digital dentistry; clinical decision-making support; ontology; personalized medicine.

Conflict of interest: The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Kijko A.A., Nikolaenko A.N., Postnikov M.A., Popov N.V., Lysov A.D., Ponomarev A.E., Zarov E.V. Clinical decision-making support system for dental implant design using machine learning. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2026;16(1):174–188. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2026-16-1-174-188>

Received 29.01.2026

Accepted 28.02.2026

Published 31.03.2026

Введение

Развитие дентальной имплантации в настоящее время тесно связано с внедрением технологий цифровой стоматологии, трехмерного моделирования и компьютерного зрения. Новые возможности в этой области могут быть обеспечены путем внедрения искусственного интеллекта [1] применительно к отрасли здравоохранения [2]. Данное направление исследований требует междисциплинарного подхода, приобретающего в настоящее время высокую актуальность [3]; однако остаются открытыми вопросы в этой области на уровне формирования клинических рекомендаций [4] и необходимого регулирования [5].

Внедрение искусственного интеллекта в стоматологию также имеет хорошие перспективы [6]. Индивидуальный подход к построению дентальных имплантатов с учетом особенностей строения зубочелюстного аппарата пациентов позволяет реализовать современные принципы персонализированной медицины [7] и повысить качество реабилитации пациентов с потерей зубов.

Одной из частных задач цифровой дентальной имплантации является выбор и проектирование конструкции параметризованного имплантата [8] с учетом различных параметров изготовле-

ния [9]. Решение этой задачи зависит от объема и качества костной ткани в зоне имплантации, характера дефектов зубного ряда, плотности и строения кости, планируемой протезной конструкции и ряда других факторов. На основании всестороннего анализа этих параметров совместно врач-хирург и врач-ортопед должны выбрать тип имплантата, диаметр, длину и разработать план хирургического вмешательства и ортопедического лечения.

С целью повышения качества решения этой задачи, сокращения ее трудоемкости и устранения влияния человеческого фактора была разработана система поддержки принятия врачебных решений с элементами искусственного интеллекта, автоматизирующая выбор и расчет параметров дентальных имплантатов по индивидуальным данным пациента, включая результаты компьютерной томографии (КТ), сведения о сложной анатомии и сопутствующих патологиях.

Реализация технологий искусственного интеллекта в данном случае позволила обеспечить идентификацию характеристик кости и мягких тканей по снимкам КТ и классифицировать дефицит костной ткани с использованием машинного обучения, в также формализовать логику выбора имплантатов

с помощью базы знаний, реализованной в формате компьютерной онтологии [10] посредством формально-логических правил.

Известен успешный опыт применения онтологий в цифровой стоматологии. В работе [11] онтология используется для формального описания процесса удаления зубов. Исследование [12] посвящено стандартизации терминов в области имплантологии и обеспечению их семантической совместимости. В работе использовано программное обеспечение Protégé. Построение онтологической основы в имплантологии позволяет реализовать базу знаний для профессионального стоматолога при принятии решений о выборе типа зубного имплантата, который будет установлен в каждом конкретном случае.

В работе [13] предлагается концептуальная модель знаний и логического вывода для поддержки процесса имплантации зубов. Здесь же дополнительно отмечается актуальность применения компьютерных методов моделирования и диагностики для определения параметров процесса имплантации. В статье [14] на базе онтологии построена система поддержки принятия врачебных решений по проектированию dentальных съемных частичных протезов. Здесь онтология представляет собой парадигму для представления знаний о состоянии полости рта пациента и компонентах протеза.

Несмотря на позитивную оценку онтологии как инструмента построения

базы знаний в стоматологии, в реальных системах поддержки принятия врачебных решений по конструированию имплантата она не применена. Однако результаты исследований позволили обеспечить цифровую трансформацию процесса диагностики и планирования хирургического и ортопедического лечения, что более детально представлено далее в статье.

Материалы и методы

Основная задача поддержки принятия врачебных решений заключается в автоматизированной обработке больших объемов информации, описывающей состояние здоровья пациента, их обобщения и визуального представления врачу в лаконичной и достоверной форме. В контексте решаемой задачи такой подход сводится к последовательному выполнению трех этапов:

- 1) выбор типа имплантата и его параметризация;
- 2) определение размеров и расположения имплантата относительно костей нижней челюсти и зубов пациента с учетом его индивидуальных особенностей;
- 3) планирование хирургического вмешательства в особых случаях.

Традиционно для этих целей врач использует данные КТ. При этом он выбирает необходимые проекции вручную, что требует достаточно больших временных затрат на работу с трехмерными изображениями. Для снижения трудоемкости этого процесса предлага-

ется реализовать дополнительную информационную обработку снимков КТ, результатом которой является выбор и параметризация модели зубного имплантата.

Данные КТ позволяют определить относительное место расположения имплантата и условия его установки, включая возможные динамические нагрузки. Основная жевательная нагрузка передается по его оси и зависит от угла установки. Это необходимо учитывать при выборе типа и размера имплантата. Определить и визуализировать векторы жевательной нагрузки, таким образом, можно в проекциях плоскости нижней челюсти и перпендикулярной ей плоскости. Такой метод позволяет перейти от трехмерной модели к группе двумерных изображений.

Далее при выборе имплантата необходимо руководствоваться следующими входными параметрами:

- размер костного блока;
- плотность трабекулярной кости;
- пиковая жевательная нагрузка;
- наличие остеопении, остеопороза.

Шаг и глубина резьбы выбираются для достижения необходимой площади поверхности имплантата и максимально близкими к средним параметрам шага и глубины. Глубина и форма резьбы плавно меняется по мере перехода имплантата из одной плотности кости в другую.

В результате системного анализа особенностей установки имплантата и логики поддержки принятия врачебных

решений в состав соответствующего программного комплекса были включены следующие компоненты. Это компонент реализации базы знаний для задания и обеспечения базовых алгоритмов и расчетов и компонент машинного обучения, решающий частную задачу идентификации плотности кости и классификации по типу костной ткани с использованием искусственной нейронной сети. Ниже данные компоненты раскрыты подробнее.

Реализация базы знаний

Реализация базы знаний выполнена в виде компьютерной онтологии и содержит правила, выстроенные в типовой последовательности обработки данных. При этом данные правила могут применяться в другой последовательности или совместно для корректировки решения врача в рамках информационной поддержки принятия врачебных решений.

В ходе исследования была разработана следующая система формальных правил:

1. Выбор проекции:

- *исходные данные*: КТ пациента;
- *вывод*: плоскость челюсти (продольная и поперечная проекция).

2. Расчет диаметра имплантата в продольной челюсти проекции:

- *исходные данные*: h_1 – размер кости челюсти в месте установки имплантата в продольной проекции; d_3 и d_4 – минимальные расстояния от проектируемого имплантата до соседнего зуба = 1,6 мм / имплантата = 2,8 мм. Диаметр

имплантата выбирается наименьшим значением среди d_1 и d_2 ;

– вывод: $d_1 = h_1 - d_3 - d_4$;

– единица измерения: мм.

3. Расчет диаметра имплантата в поперечной челюсти проекции:

– исходные данные: h_2 – размер кости челюсти в месте установки имплантата в поперечной проекции;

– вывод: $d_2 = h_2 - 3,8$;

– единица измерения: мм.

4. Расчет диаметра имплантата:

– исходные данные: d_1, d_2 ;

– вывод: $d_i = \min(d_1, d_2)$;

– единица измерения: мм.

5. Выбор проекции:

– исходные данные: КТ пациента;

– вывод: проекция фронтальная, перпендикулярная плоскости нижней челюсти.

6. Определение длины имплантата

– исходные данные: L_i – размер кости челюсти в месте и направлении установки имплантата;

– вывод: $l_i = L_i - 1,8$;

– единица измерения: мм.

7. Определение плотности трабекулярной кости ρ и типа костной ткани:

– исходные данные: снимки конусно-лучевой КТ пациента, опросный лист;

– вывод: с использованием ИИ (как показано ниже);

– единица измерения: по шкале Хаунсфилда, HU.

8. Оценка индивидуальной жевательной нагрузки:

– исходные данные: пол (мужской/женский), или по тестам индивидуально;

– вывод: $M \rightarrow 820$; $J \rightarrow 700$;

– единица измерения: кгс.

9. Определение предельного напряжения костной ткани (пиковой жевательной силы):

– исходные данные: плотность костной ткани трабекулярной кости (в HU);

– вывод:

кортикальная кость $\rightarrow 14,8$;

губчатая кость $\rightarrow 8,2$;

губчатая кость 830 HU $\rightarrow 6,46$;

губчатая кость 800 HU $\rightarrow 5,42$;

губчатая кость 760 HU $\rightarrow 4,64$;

губчатая кость 720 HU $\rightarrow 4,18$;

губчатая кость 680 HU $\rightarrow 3,83$;

губчатая кость 600 HU $\rightarrow 3,27$;

губчатая кость 510 HU $\rightarrow 2,79$;

губчатая кость 425 HU $\rightarrow 2,34$;

губчатая кость 340 HU $\rightarrow 1,9$;

губчатая кость 250 HU $\rightarrow 1,48$

– единица измерения: кг/мм².

10. Корректировка предельного напряжения костной ткани:

– исходные данные: опросный лист;

– вывод: остеопороз, менопауза $\rightarrow$

$P_i = 0,75 \cdot P_i^*$; сахарный диабет, печеночная и почечная недостаточность $\rightarrow$

$P_i = 0,85 \cdot P_i^*$; прочие критерии;

– единица измерения: кг/мм².

11. Расчет плоскости поверхности резьбы:

– исходные данные: жевательная нагрузка F_i ; пиковая жевательная сила P_i ;

– вывод: $S_i = F_i / P_i$;

– единица измерения: мм².

12. Выбор формы резьбы

– *исходные данные*: плотность костной ткани D;

– *вывод*: D1 → квадратная;

D2 → трапециевидная;

D3, D4 → V-образная;

13. Выбор параметров резьбы

– *исходные данные*: плотность костной ткани D;

– *вывод*:

кость D1 → шаг резьбы 0,2...0,5;

глубина резьбы 0,1-0,3;

кость D2 → шаг резьбы 0,4...0,8;

глубина резьбы 0,2-0,4;

кость D3 → шаг резьбы 0,7...1,2;

глубина резьбы 0,3-0,6;

кость D4 → шаг резьбы 1,0...1,6;

глубина резьбы 0,5-0,8;

– *единица измерения*: мм.

База знаний была реализована в составе системы поддержки принятия врачебных решений на языке Python.

Реализация машинного обучения

Технология искусственного интеллекта в рамках решаемой задачи может быть эффективно использована на этапе определения плотности трабекулярной кости и типа костной ткани путем анализа снимков конусно-лучевой КТ пациента. Данная задача достаточно успешно решается с помощью современных искусственных нейронных сетей [15], реализующих машинное зрение по данным КТ [16]. Достаточно хорошо удается распознавать плотность кости по снимкам высокого разрешения [17] и проводить последующую медицинскую диагностику [18].

Применительно к решаемой задаче известен опыт применения искусственных нейронных сетей в анализе конусно-лучевой КТ при планировании операций [19] и оценке осложнений [20]. В частности, в работе [21] отражен успешный опыт применения сверточной нейронной сети для обнаружения краевой потери костной ткани на периапикальных рентгенограммах. В связи с этим для решения поставленной задачи логично реализовать нейросетевой алгоритм распознавания плотности костной ткани и классификации случаев по типу предельного напряжения костной ткани.

В качестве исходных изображений были использованы снимки КТ нижней челюсти с различным разрешением (рис. 1), размеченные предварительно по группам плотности костной ткани, по 30 снимков в каждой группе.



Рис. 1. Исходный снимок КТ нижней челюсти (пример)

Fig. 1. Input CT scan of the lower jaw (example)

В рамках реализованной системы поддержки принятия врачебных реше-

ний была выбрана модель остаточной нейронной сети ResNet 34 с 34 слоями [22], которая показала наилучшие результаты по сравнению с аналогами (рис. 2–4).

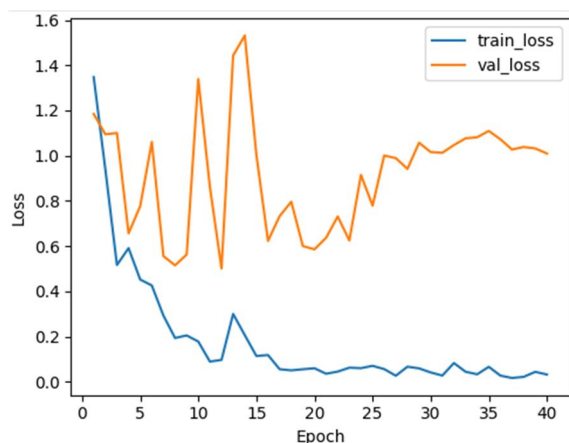


Рис. 2. Функция потерь

Fig. 2. Loss function

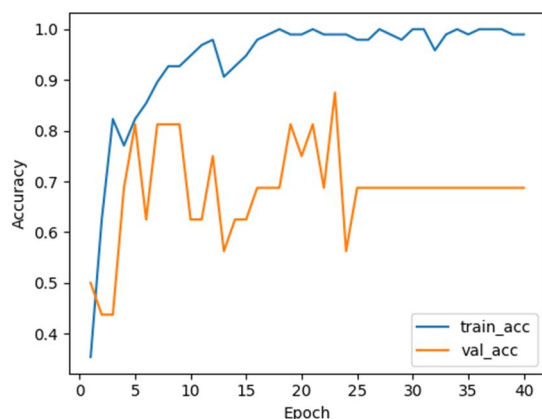


Рис. 3. Точность распознавания

Fig. 3. Accuracy

Наилучшие результаты показала модель resnet34_gray_w_seed2. Модель достигла 0,875 точности на валидационной выборке и 0,75 точности на тестовой выборке при значении test loss около 0,72. Таким образом, можно сделать вывод о положительной возможности применения технологии машинного обучения на данном этапе алгоритма.

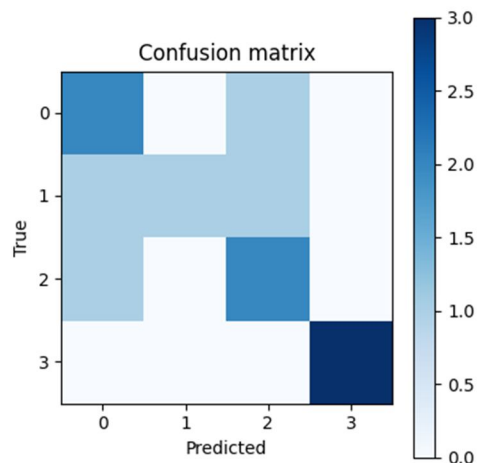


Рис. 4. Распределение ошибок

Fig. 4. Confusion matrix

Результаты и их обсуждение

Предложенные технологии были реализованы в составе системы поддержки принятия врачебных решений (рис. 5). Функциональность программного обеспечения включает загрузку данных КТ с последующей обработкой, выбор типа имплантата и его параметризацию, определение размеров и расположения имплантата с учетом индивидуальных особенностей пациента.

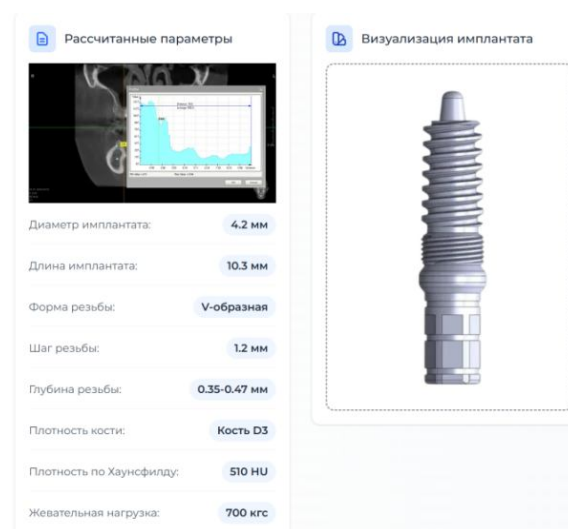


Рис. 5. Фрагмент экрана СППВР

Fig. 5. Software screen fragment

Тестирование системы было произведено на нескольких реальных случаях. В результате на основании результатов исследований конусно-лучевой компьютерной томографии были выведены оптимальные габаритные размеры дентального имплантата: общая длина, длина внутрикостной части имплантата с двухзаходной мелкой резьбой, располагающейся в кортикальном слое кости, и диаметр внутрикостной части имплантата. Предложенные системой параметры были согласованы лечащим врачом.

Результаты рассматриваемого случая (до и после имплантации) представлены ниже (рис. 6 и 7).



Рис. 6. Исходная ортопантограмма челюстей пациента

Fig. 6. Initial orthopantomogram of the patient's jaws

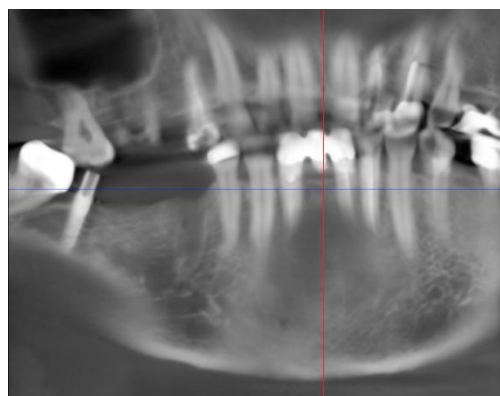


Рис. 7. Результат имплантации

Fig. 7. Implantation result

Полученные результаты подтверждают возможность и практическую полезность реализации системы поддержки принятия врачебных решений по проектированию дентальных имплантатов.

Выводы

Проведенное исследование позволило реализовать систему поддержки принятия врачебных решений для выбора и параметризации дентальных имплантатов в соответствии с современными принципами персонализированной медицины. Основным научным результатом исследования является обобщение в рамках единого комплекса технологий визуализации технических решений совместно с базой знаний, построенной в виде компьютерной онтологии, и модуля машинного обучения для идентификации плотности кости и классификации по типу костной ткани с использованием искусственной нейронной сети.

Предложенный гибридный подход, сочетающий экспертные правила с методами машинного обучения, позволяет объединить достоинства двух парадигм: формализованного клинического опыта и адаптивного выявления скрытых закономерностей в данных. Гибридная интеллектуальная система может обучаться на реальных клинических кейсах, уточняя рекомендации на основе статистиче-

ских корреляций, и одновременно опираться на проверенные правила, обеспечивая клиническую интерпретируемость и соответствие стандартам лечения.

Практическая реализация и проведенные эксперименты подтвердили широкие возможности применения разработанной системы на практике в цифровой стоматологии.

Список литературы

1. Алексеева М. Г., Зубов А. И., Новиков М. Ю. Искусственный интеллект в медицине // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 7 (121). С. 10–13. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.121.7.038>
2. Итоги внедрения искусственного интеллекта в здравоохранении России / В. В. Ваньков, О. Р. Артемова, О. Э. Карпов, А. В. Матвиенко, А. В. Гусев, И. М. Еникеев, Е. В. Костина // Врач и информационные технологии. 2024. № 3. С. 32-43. https://doi.org/10.25881/18110193_2024_3_32
3. Искусственный интеллект в медицине: обзор текущей ситуации и тенденции / Я. Г. Купатенко, А. К. Мирук, А. В. Ломоносова, А. А. Козлова // Cifra. Медико-биологические науки. 2024. № 2 (2). С.1-13. <https://doi.org/10.60797/BMED.2024.2.4>
4. Морозов Д. Ю., Омеляновский В. В., Федяева В. К. Искусственный интеллект в системе здравоохранения. Клинические рекомендации // Менеджер здравоохранения. 2025. № 9. С. 58-67. <https://doi.org/10.21045/1811-0185-2025-9-58-67>
5. Анализ мирового опыта в регулировании использования медицинских данных для целей создания систем искусственного интеллекта на основе машинного обучения / Д. Е. Шарова, А. А. Михайлова, А. В. Гусев, С. В. Гарбук, А. В. Владзимирский, Ю. А. Васильев // Врач и информационные технологии. 2022. № 4. С. 28–39. https://doi.org/10.25881/18110193_2022_4_28
6. Kukreja B., Kukreja P. Integration of Artificial Intelligence in dentistry: a systematic review of educational and clinical implications // Cureus. 2025. Vol. 17. <https://doi.org/10.7759/cureus.79350>
7. Персонализированная медицина: современное состояние и перспективы / И. И. Дедов, А. Н. Тюльпаков, В. П. Чехонин, В. П. Баклаушев, А. И. Арчаков, С. А. Мошковский // Вестник Российской академии медицинских наук. 2012. Т. 67, № 12. С. 4–12.
8. Bensmain W., Benlebna M., Serier B., Abbes B., Bouiadjra B. A. Parametric optimization of dental implants // Mechanics and Mechanical Engineering. 2018. Vol. 22. P. 1061-1076. <https://doi.org/10.2478/mme-2018-0084>
9. Rahmanivahid P., Heidari M. Design parameters of dental implants: a review // Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería. 2022. Vol. 38, N 1. P. 1-10. <https://doi.org/10.23967/j.rimni.2022.03.002>

10. Онтологический комплекс представления знаний для реабилитации травматолого-ортопедических пациентов / В. В. Грибова, Е. А. Шалфеева, Д. Б. Окунь, О. Н. Шевченко // *Онтология проектирования*. 2025. Т. 15, № 4(58). С. 509–522. <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2025-15-4-509-522>
11. Vasanthapriyan S. An ontological approach for knowledge representation of dental extraction forceps // *Artificial Intelligence: Second International Conference*. Singapore: Springer, 2019. P. 147-160. https://doi.org/10.1007/978-981-13-9129-3_11
12. Formalization of a knowledge base applied to dental implant / V. Biasi, M. Rudek, A. Szejka, J. O. Canciglieri // *Proceedings of the 8th International Conference on Information Society and Technology (ICIST 2018)*. Serbia: Kopaonik, 2018. P. 1-6.
13. A conceptual knowledge-link model for supporting dental implant process / A. Szejka, O. Canciglieri Junior, M. Rudek, H. Panetto // *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 945-949. P. 3424-3429. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.945-949.3424>
14. An ontology-driven, case-based clinical decision support model for removable partial denture design / Q. Chen, J. Wu, S. Li, P. Lyu, Y. Wang, M. Li // *Scientific Reports*. 2016. Vol. 6. P. 27855. <https://doi.org/10.1038/srep27855>
15. Bida F., Naser H. Diagnostic of osteoporosis using backpropagation neural networks // *Journal of Techniques*. 2025. N 7. P. 10–20. <https://doi.org/10.51173/jt.v7i2.2597>
16. Optimized Hounsfield units transformation for explainable temporal stage-specific ischemic stroke classification in CT imaging / R. Qasrawi, S. Thwib, G. Issa, I. Qdaih, R. Abu Ghoush, H. Arjah // *J. Imaging*. 2025. N 11. P. 423. <https://doi.org/10.3390/jimaging11120423>
17. An automatic deep learning-based bone mineral density measurement method using X-ray images of children / H. Zhao, Yi Zhang, W. Zhang, L. Wang, K. Li, J. Geng, X. Cheng, T. Wu // *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*. 2025. N 15. P. 2481–2493. <https://doi.org/10.21037/qims-24-283>
18. Интеллектуальная диагностика межпозвонковых грыж поясничного отдела с телемедицинским доступом / А. В. Епифанов, Д. С. Жейков, А. В. Иващенко, Г. П. Герасимов, В. В. Авсиевич, А. Е. Пономарев, В. В. Панарин, А. В. Авсиевич, А. В. Колсанов // *Менеджер здравоохранения*. 2025. № 10. С. 90–96. <https://doi.org/10.21045/1811-0185-2025-10-90-96>
19. U-Net-based deep learning architecture for automated CBCT segmentation of the mandibular canal in dental implant treatment planning: A systematic review and meta-analysis / B. Palani, M. Rathee, S. Tomar, S. Singla // *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2025. N 25. P. 00955-2. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2025.12.003>
20. A pilot study of a deep learning approach to detect marginal bone loss around implants / M. Liu, S. Wang, H. Chen [et al.] // *BMC Oral Health*. 2022. N 22. P. 11. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-02035-8>

21. Peri-implant bone loss measurement using a region-based convolutional neural network on dental periapical radiographs / J.-Y. Cha, H.-I. Yoon, I.-S. Yeo, K.-H. Huh, J.-S. Han // *Journal of Clinical Medicine*. 2021. N 10. P. 1009. <https://doi.org/10.3390/jcm10051009>
22. Shafiq M., Gu Z. Deep residual learning for Image Recognition: A Survey // *Applied Sciences*. 2022. N 12(18). P. 8972. <https://doi.org/10.3390/app12188972>

References

1. Alekseeva M.G., Zubov A.I., Novikov M.Yu. Artificial intelligence in medicine. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal = International Scientific Research Journal*. 2022;(7):10-13. (In Russ.) <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.121.7.038>
2. Vankov V.V., Artemova O.R., Karpov O.E., Matvienko A.V., Gusev A.V., Enikeev I.M., Kostina E.V. Results of the introduction of artificial intelligence in Russian healthcare. *Vrach i informatsionnye tekhnologii = Doctor and Information Technologies*. 2024;(3):32-43. (In Russ.) https://doi.org/10.25881/18110193_2024_3_32
3. Kupatenko Ya.G., Miruk A.K., Lomonosova A.V., Kozlova A.A. Artificial intelligence in medicine: an overview of the current situation and trends. *Cifra. Mediko-biologicheskie nauki = Cifra. Medical and Biological Sciences*. 2024;(2):1-13. (In Russ.) <https://doi.org/10.60797/BMED.2024.2.4>
4. Morozov D.Yu., Omelyanovsky V.V., Fedyaeva V.K. Artificial intelligence in the healthcare system. Clinical recommendations. *Menedzher zdravookhraneniya = The Health Care Manager*. 2025;(9):58-67. (In Russ.) <https://doi.org/10.21045/1811-0185-2025-9-58-67>
5. Sharova D.E., Mikhailova A.A., Gusev A.V., Garbuk S.V., Vladzimirsky A.V., Vasiliev Yu.A. Analysis of world experience in regulating the use of medical data for the purpose of creating artificial intelligence systems based on machine learning. *Vrach i informatsionnye tekhnologii = Doctor and Information Technologies*. 2022;(4):28-39. (In Russ.) https://doi.org/10.25881/18110193_2022_4_28
6. Kukreja B., Kukreja P. Integration of Artificial Intelligence in dentistry: a systematic review of educational and clinical implications. *Cureus*. 2025. Vol. 17. <https://doi.org/10.7759/cureus.79350>
7. Dedov I.I., Tulpakov A.N., Chekhonin V.P., Baklaushev V.P., Archakov A.I., Moshkovsky S.A. Personalized medicine: current state and prospects. *Vestnik Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk = Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2012;67(12):4-12. (In Russ.)
8. Bensmain W., Benlebna M., Serier B., Abbes B., Bouiadjra B. A. Parametric optimization of dental implants. *Mechanics and Mechanical Engineering*. 2018;22:1061-1076. <https://doi.org/10.2478/mme-2018-0084>

9. Rahmanivahid P., Heidari M. Design parameters of dental implants: a review. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*. 2022;38(1):1-10. <https://doi.org/10.23967/j.rimni.2022.03.002>
10. Gribova V.V., Shalfeeva E.A., Okun D.B., Shevchenko O.N. Ontological complex of knowledge representation for rehabilitation of traumatological and orthopedic patients. *Ontologiya proektirovaniya = The Ontology of Design*. 2025;15(4):509-522. (In Russ.) <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2025-15-4-509-522>
11. Vasanthapriyan S. An ontological approach for knowledge representation of dental extraction forceps. In: *Artificial Intelligence: Second International Conference*. Singapore: Springer; 2019. P. 147-160. https://doi.org/10.1007/978-981-13-9129-3_11
12. Biasi V., Rudek M., Szejka A., Canciglieri J. O. Formalization of a knowledge base applied to dental implant. In: *Proceedings of the 8th International Conference on Information Society and Technology (ICIST 2018)*. Serbia: Kopaonik; 2018. P. 1-6.
13. Szejka A., Canciglieri Junior O., Rudek M., Panetto H. A conceptual knowledge-link model for supporting dental implant process. *Advanced Materials Research*. 2014;945-949:3424-3429. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.945-949.3424>
14. Chen Q., Wu J., Li S., Lyu P., Wang Y., Li M. An ontology-driven, case-based clinical decision support model for removable partial denture design. *Scientific Reports*. 2016;6:27855. <https://doi.org/10.1038/srep27855>
15. Bida F., Naser H. Diagnostic of osteoporosis using backpropagation neural networks. *Journal of Techniques*. 2025;(7):10–20. <https://doi.org/10.51173/jt.v7i2.2597>
16. Qasrawi R., Thwib S., Issa G., Qdaih I., Abu Ghoush R., Arjah H. Optimized Hounsfield units transformation for explainable temporal stage-specific ischemic stroke classification in CT imaging. *J. Imaging*. 2025;(11):423. <https://doi.org/10.3390/jimaging11120423>
17. Zhao H., Zhang Yi, Zhang W., Wang L., Li K., Geng J., Cheng X., Wu T. An automatic deep learning-based bone mineral density measurement method using X-ray images of children. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*. 2025;(15):2481–2493. <https://doi.org/10.21037/qims-24-283>
18. Epifanov A.V., Zheikov D.S., Ivashchenko A.V., Gerasimov G. P., Avsievich V.V., Ponomarev A.E., Panarin V.V., Avsievich A.V., Kolsanov A.V. Intelligent diagnostics of intervertebral hernias of the lumbar spine with telemedicine access. *Menedzher zdorovookhraneniya = The Health Care Manager*. 2025;(10):90-96. (In Russ.) <https://doi.org/10.21045/1811-0185-2025-10-90-96>
19. Palani B., Rathee M., Tomar S., Singla S. U-Net-based deep learning architecture for automated CBCT segmentation of the mandibular canal in dental implant treatment planning: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2025;(25):00955-2. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2025.12.003>

20. Liu M., Wang S., Chen H., et al. A pilot study of a deep learning approach to detect marginal bone loss around implants. *BMC Oral Health*. 2022;(22):11. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-02035-8>
21. Cha J.-Y., Yoon H.-I., Yeo I.-S., Huh K.-H., Han J.-S. Peri-implant bone loss measurement using a region-based convolutional neural network on dental periapical radiographs. *Journal of Clinical Medicine*. 2021;(10):1009. <https://doi.org/10.3390/jcm10051009>
22. Shafiq M., Gu Z. Deep residual learning for Image Recognition: A Survey. *Applied Sciences*. 2022;(12):8972. <https://doi.org/10.3390/app12188972>

Информация об авторах / Information about the Authors

Кийко Анастасия Алексеевна, аспирант, Научно-исследовательский институт бионики и персонифицированной медицины, Самарский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Самара, Российская Федерация, e-mail: pavlova_163@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0685-507X

Anastasia A. Kijko, Postgraduate, Research Institute of Bionics and Personalized Medicine, Samara State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Samara, Russian Federation, e-mail: pavlova_163@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0685-507X

Николаенко Андрей Николаевич, доктор медицинских наук, доцент, директор Научно-исследовательского института бионики и персонифицированной медицины, Самарский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Самара, Российская Федерация, e-mail: nikolaenko.83@inbox.ru, ORCID: 0000-0003-3411-4172

Andrey N. Nikolaenko, Doctor of Sciences (Medical), Associate Professor, Director at the Research Institute of Bionics and Personalized Medicine, Samara State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Samara, Russian Federation, e-mail: nikolaenko.83@inbox.ru, ORCID: 0000-0003-3411-4172

Постников Михаил Александрович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой терапевтической стоматологии с курсом остеопатии, Самарский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Самара, Российская Федерация, e-mail: postnikovortho@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-2232-8870

Mikhail A. Postnikov, Doctor of Sciences (Medical), Professor, Head of the Department of Therapeutic Dentistry, Samara State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Samara, Russian Federation, e-mail: postnikovortho@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-2232-8870

Попов Николай Владимирович, доктор медицинских наук, доцент, директор института стоматологии, Самарский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Самара, Российская Федерация, e-mail: n.v.popov@samsmu.ru, ORCID: 0000-0003-4454-984X

Nikolay V. Popov, Doctor of Sciences (Medical), Associate Professor, Director of the Institute of Dentistry, Samara State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Samara, Russian Federation, e-mail: n.v.popov@samsmu.ru, ORCID: 0000-0003-4454-984X

Лысов Александр Дмитриевич, кандидат медицинских наук, доцент кафедры стоматологии, Медицинский университет «Реавиз», г. Самара, Российская Федерация, e-mail: mail@reaviz.ru, ORCID: 0000-0003-3369-8030

Alexander D. Lysov, Candidate of Sciences (Medical), Associate Professor at the Department of Dentistry, Medical University “REAVIZ”, Samara, Russian Federation, e-mail: mail@reaviz.ru, ORCID: 0000-0003-3369-8030

Пономарев Артем Евгеньевич, магистрант, Передовая медицинская инженерная школа, Самарский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Самара, Российская Федерация, e-mail: a.e.ponomonarev@samsmu.ru, ORCID: 0009-0003-9759-9944

Artem E. Ponomarev, Undergraduate, Higher School of Medical Engineering, Samara State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Samara, Russian Federation, e-mail: a.e.ponomonarev@samsmu.ru, ORCID: 0009-0003-9759-9944

Заров Евгений Владимирович, магистрант, Передовая медицинская инженерная школа, Самарский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Самара, Российская Федерация, e-mail: e.v.zarov@samsmu.ru, ORCID: 0009-0001-2151-6511

Evgeny V. Zarov, Undergraduate, Higher School of Medical Engineering, Samara State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Samara, Russian Federation, e-mail: e.v.zarov@samsmu.ru, ORCID: 0009-0001-2151-6511