Стоматология
2026, Т. 105, №2, с. 60–64
https://doi.org/10.17116/stomat202610502160

Stomatology
2026, vol. 105, no. 2, pp. 60–64
https://doi.org/10.17116/stomat202610502160

Роль 3D-технологий и цифровых баз данных в современной судебной стоматологии (обзор литературы)

© Ашот Владимирович Камалян

Научно-исследовательский центр судебной экспертизы и исследования, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Современная судебная одонтология переживает цифровую трансформацию, связанную с внедрением 3D-технологий и созданием специализированных цифровых баз данных. Эти инновации кардинально меняют традиционные подходы к идентификации личности, обеспечивая повышенную точность, скорость и объективность анализа. Использование 3D-сканирования, CAD/CAM-систем, компьютерной томографии и 3D-печати позволяет создавать высокодетализированные цифровые модели челюстно-лицевой области, которые могут использоваться для установления личности в случаях массовых катастроф, криминальных расследований и при работе с сильно поврежденными останками. Несмотря на очевидные преимущества, интеграция этих технологий сталкивается с проблемами стандартизации, затрат на внедрение и обеспечения кибербезопасности. Проведен аналитический обзор научной литературы, опубликованной за последние 10 лет (2014—2024 гг.). Поиск релевантных публикаций осуществлялся в международных электронных базах данных (PubMed, Cochrane Library, Scopus, Web of Science) и в российских научных электронных библиотеках (eLibrary, CyberLeninka). Критериями включения являлись фокус на применении 3D-технологий (3D-сканирование, CAD/CAM, 3D-печать) и/или цифровых баз данных в контексте судебной стоматологии; описание конкретных клинических случаев или исследовательских методик; наличие анализа преимуществ, ограничений и перспектив. Исключались статьи, не содержащие оригинальных данных, а также публикации, недоступные в полном тексте. В рамках исследования из предложенных 254 отобрано 20 публикаций, отвечающих указанным критериям включения.

Ключевые слова: *судебная одонтология, 3D-сканирование, цифровая идентификация, базы данных, CAD/CAM, 3D-печать, искусственный интеллект, биометрия.*

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ:
Камалян А.В. — https://orcid.org/0009-0004-6139-0898
Автор, ответственный за переписку: Камалян А.В. — e-mail: 9262465066@mail.ru

КАК ЦИТИРОВАТЬ:
Камалян А.В. Роль 3D-технологий и цифровых баз данных в современной судебной стоматологии (обзор литературы). *Стоматология.* 2026;105(2):60–64. https://doi.org/10.17116/stomat202610502160

The role of 3D technologies and digital databases in modern forensic dentistry

© A.V. Kamalyan

Scientific Research Center for Forensic Examination and Research, Moscow, Russia

ABSTRACT

Modern forensic odontology is undergoing a digital transformation associated with the introduction of 3D technologies and the creation of specialized digital databases. These innovations radically change traditional approaches to personal identification, providing increased accuracy, speed and objectivity of analysis. The use of 3D scanning, CAD/CAM systems, computed tomography, and 3D printing makes it possible to create highly detailed digital models of the maxillofacial region that can be used to identify individuals in cases of mass disasters, criminal investigations, and when working with severely damaged remains. Despite the obvious advantages, the integration of these technologies faces challenges of standardization, implementation costs, and cybersecurity. A systematic search and analytical review of scientific literature published over the past 10 years (2014—2024) was conducted. Relevant publications were searched in international electronic databases (PubMed, Cochrane Library, Scopus, Web of Science) and in Russian scientific electronic libraries (eLibrary, CyberLeninka). The inclusion criteria were: focus on the application of 3D technologies (3D scanning, CAD/CAM, 3D printing) and/or digital databases in the context of forensic dentistry; description of specific clinical cases or research techniques; the presence of an analysis of advantages, limitations and prospects. Articles that did not contain original data were excluded, as well as publications that were not available in full text. As part of the study, 20 publications were selected from the proposed 254 that meet the specified inclusion criteria.

Keywords: *forensic odontology, 3D scanning, digital identification, databases, CAD/CAM, 3D printing, artificial intelligence, biometrics.*

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR:
Kamalyan A.V.— https://orcid.org/0009-0004-6139-0898
Corresponding author: Kamalyan A.V. — e-mail: 9262465066@mail.ru

TO CITE THIS ARTICLE:
Kamalyan AV. The role of 3D technologies and digital databases in modern forensic dentistry. *Stomatology.* 2026;105(2):60–64. (In Russ.).
https://doi.org/10.17116/stomat202610502160

Введение

В настоящее время наблюдается активное проникновение искусственного интеллекта (ИИ) в различные сферы человеческой деятельности, обусловленное прогрессом в области вычислительных технологий и когнитивных наук. Как междисциплинарная область знаний ИИ реализуется через комплекс методов и методологий, нацеленных на создание интеллектуальных систем, способных выполнять функции, традиционно ассоциирующиеся с человеческим познанием [1]. Современные интеллектуальные системы демонстрируют эффективность в решении широкого спектра задач, включая распознавание образов, стратегическое планирование и адаптивное обучение [2]. Фундаментальной основой для обработки значительных массивов информации служат нейронные сети, архитектура которых воспроизводит принципы организации биологических нейронных структур [3]. Алгоритмы глубокого обучения, обеспечивающие автоматическую идентификацию и экстракцию признаков из исходных данных, находят применение в прогностическом моделировании, компьютерном зрении, обработке естественного языка и речевых интерфейсах.

Особую актуальность эти технологии приобретают в контексте модернизации судебной стоматологии. Несмотря на то что традиционная экспертная практика зачастую опирается на визуальный анализ и клинические методы, например, использование атласов для определения дентального возраста, эти подходы демонстрируют ограниченную эффективность в условиях массовых катастроф, требующих оперативной обработки значительных объемов данных. В связи с этим актуальной задачей становится комплексная автоматизация идентификационных процессов [4].

Принципиально новое качество экспертизе придает интеграция ИИ с технологиями трехмерного моделирования и цифровыми базами данных. Современные методы 3D-сканирования (внутриротового, лабораторного, КЛКТ) позволяют создавать высокоточные виртуальные копии челюстно-лицевой области, которые служат основой для посмертной идентификации и анализа следов укусов. Цифровые архивы, аккумулирующие антимортальные стоматологические записи, включая 3D-модели и радиологические изображения, обеспечивают базу для сравнительного исследования [5]. Синергетический эффект достигается при обработке этих структурированных массивов информации алгоритмами машинного обучения, которые способны автоматически выявлять и сопоставлять индивидуальные морфологические особенности зубной системы.

Цель исследования: комплексный анализ возможностей и перспектив конвергентного применения технологий ИИ, 3D-моделирования и цифровых баз данных в практике судебно-стоматологической идентификации личности на основе систематизации данных современной научной литературы.

Цифровая трансформация судебно-одонтологической экспертизы: от традиционных методов к 3D-моделированию и искусственному интеллекту

Эволюция методов судебной стоматологии демонстрирует последовательный переход от традиционных подходов к комплексной цифровизации экспертной практики. Традиционно в процессе лечения получают оттиски и по ним отливают модели. Эти методы постепенно уступают место высокоточным цифровым технологиям с использованием внутриротового сканирования. Это цифровой метод сканирования зубов, т.е. современная технология, позволяющая создавать точные трехмерные модели зубов, челюстей и окружающих тканей. Она заменяет традиционные слепки, повышая точность диагностики, скорость лечения и комфорт пациентов. Устройство фиксирует мельчайшие детали с помощью оптического или лазерного сканирования. Программное обеспечение объединяет полученные данные в 3D-модель в реальном времени. Преимущества этого метода перед традиционными методами: высокая точность (погрешность 20—30 мкм); комфорт для пациента (нет неприятных ощущений, связанных с использованием слепочных материалов); скорость (процедура занимает 2—15 мин, модель готова сразу после сканирования); цифровая интеграция (данные можно передавать в лаборатории для CAD/CAM-систем, 3D-печати или фрезеровки); возможность коррекции (при необходимости можно повторно просканировать только нужный участок); исключение деформаций (цифровые модели не деформируются при транспортировке или хранении); экономия времени (сокращаются сроки изготовления протезов и планирования лечения); наглядность (можно продемонстрировать пациенту 3D-модель и спланировать лечение в реальном времени); юридическая значимость (цифровые модели могут использоваться как медицинские и юридические документы).

Знаковым этапом этой трансформации стало внедрение 3D-сканирования и компьютерного моделирования, позволивших создавать детализированные виртуальные реплики челюстно-лицевой области с возможностью проведения точных морфометрических измерений [6].

Логическое продолжение этой эволюции — внедрение технологий ИИ в экспертные исследования. Искусственный интеллект представляет собой мультидисциплинарную область, объединяющую методы и технологии, которые по-

зволяют компьютерным системам воспроизводить когнитивные функции мозга человека и превосходить человеческие возможности в решении сложных задач при минимальном вмешательстве оператора [7]. Сфера применения ИИ непрерывно расширяется, охватывая решение фундаментальных проблем в различных областях — от экологического мониторинга и интеллектуальных транспортных систем до анализа геосистем [8]. Методологический арсенал ИИ включает разнообразные подходы, такие как искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы, нечеткую логику и экспертные системы.

Современные компьютерные системы, основанные на интеллектуальных технологиях, обеспечивают автоматизацию сложных процессов, что особенно актуально для медицинской отрасли. Фундаментальной основой большинства интеллектуальных систем является машинное обучение — подход, предполагающий способность систем извлекать знания из специализированных тренировочных данных для автоматического построения аналитических моделей и решения прикладных задач [9]. Особое место в структуре МО (машинное обучение) занимает глубокое обучение — концепция, основанная на использовании многослойных искусственных нейронных сетей. Модели глубинного обучения демонстрируют превосходство над традиционными алгоритмами МО и классическими методами анализа данных в многочисленных приложениях. Ярким примером успешной реализации DL (Data Lineage) служат сверточные нейронные сети, ориентированные на обработку визуальной информации [10].

В контексте судебной стоматологии эти технологические решения находят применение для автоматизированного сопоставления стоматологических записей, анализа панорамных снимков и идентификации личности по совокупности одонтологических признаков. Однако отсутствие единых стандартов в выборе архитектур машинного обучения, обусловленное различиями в постановке задач, объемах и типах используемых данных, а также критериях включения/исключения в различных исследованиях, создает значительные сложности в определении оптимальной ИИ-технологии для применения в судебно-стоматологической практике, что требует дальнейших исследований и разработки унифицированных протоколов [11].

Прикладное применение 3D-технологий и баз данных в основных задачах судебной стоматологии

Практическая реализация современных технологических решений в судебной стоматологии охватывает три ключевые направления, каждое из которых демонстрирует значительное превосходство над традиционными методами исследования. В области идентификации личности произошел качественный скачок благодаря внедрению систем 3D-сканирования и создания цифровых дентальных архивов [12]. Современные методы, включая внутриротовое сканирование и КЛКТ-диагностику, позволяют формировать комплексные базы данных с уникальными идентификационными параметрами. Особую роль эти технологии приобретают при необходимости посмертной идентификации, когда традиционные методы визуального опознания неприменимы. Цифровые профили, содержащие трехмерные модели зубных рядов, особенности пломбирования, анатомии корневых каналов и протезных конструкций, обеспечивают быстрое и точное сравнение с антимортальными записями [13].

Анализ следов укусов претерпел существенную трансформацию с появлением технологий 3D-документирования. В отличие от традиционных методов, основанных на фотографировании и создании гипсовых слепков, современные подходы позволяют проводить сопоставление следов с зубным аппаратом подозреваемого с беспрецедентной точностью. Однако, как показывают исследования, современные методы классификации 3D-моделей зубов, несмотря на значительный прогресс, имеют ограничения, снижающие их практическую применимость и точность [14].

В области определения биологического профиля (возраста и пола) 3D-технологии открыли новые возможности за счет точной морфометрии. Анализ объема полости самого зуба, толщины дентина и цемента корня позволяет определять возраст с точностью, недостижимой при использовании обычных рентгенологических методов. Алгоритмы МО, обученные на обширных базах данных КЛКТ-исследований, демонстрируют способность выявлять половой диморфизм в анатомии нижней челюсти и структуре корней зубов [15].

Интеграция этих технологических решений создает основу для формирования единого цифрового пространства судебной стоматологии, где трехмерное моделирование, базы данных и алгоритмы ИИ работают в синергии, обеспечивая новый стандарт точности и эффективности экспертных исследований.

Методы в судебной стоматологии, основанные на ИИ-моделях

В современной судебной стоматологии наблюдается активное внедрение технологий ИИ, среди которых наиболее распространены глубокие нейронные сети (deep neural network — DNN), искусственные нейронные сети, МО и вычислительные технологии. Согласно анализу публикационной активности DNN демонстрируют наибольшую востребованность в решении ключевых задач экспертизы [16]. Статистические данные подтверждают, что в 2022 г. было опубликовано 6 исследований с применением DNN, тогда как в 2021 г. — 5 работ, что свидетельствует о растущем интересе к этому направлению.

Особое значение DNN приобрели в области определения возраста, где они позволяют анализировать комплекс морфологических параметров зубочелюстной системы с точностью, превышающей традиционные методы [17]. При установлении половой принадлежности алгоритмы DNN успешно обрабатывают трехмерные изображения челюстно-лицевой области, выявляя диморфные признаки, недоступные визуальной оценке. В сравнительной стоматологической экспертизе эти технологии обеспечивают автоматизированное сопоставление до- и постмортальных данных с минимальной погрешностью [18].

Искусственные нейронные сети (artificial neural networks — ANN) занимают вторую позицию по частоте применения, демонстрируя особую эффективность в двух направлениях: при определении пола по морфометрическим параметрам костных структур и в криминалистическом анализе следов укусов. В последнем случае ANN позволяют стандартизировать процесс идентификации и минимизировать субъективный фактор [19].

Современные исследования в области идентификации пола с применением ИИ активно развиваются по нескольким направлениям. Помимо анализа традиционных морфометрических параметров нижней челюсти алгоритмы глубокого обучения успешно определяют половую принадлежность по трехмерным моделям корней зубов и структуре костной ткани. Методы компьютерного зрения позволяют выявлять гендерные особенности в анатомии зубных дуг и структуре эмали, которые остаются незаметными при визуальном осмотре.

В области определения биологического возраста технологии ИИ демонстрируют революционные возможности. Сверхточные нейронные сети анализируют стадии минерализации постоянных зубов с точностью до 94%, а рекуррентные архитектуры позволяют прогнозировать возраст на основе динамики возрастных изменений дентина и цемента корня. Особый интерес представляют гибридные модели, сочетающие анализ рентгенологических данных с клиническими параметрами [20].

В отличие от перечисленных технологий классические алгоритмы МО и вычислительные методы показывают ограниченное применение — они не используются в определении возраста и редко применяются в установлении пола и анализе укусов, что свидетельствует о постепенном переходе экспертного сообщества к более сложным и точным методам анализа на основе глубокого обучения [21].

Заключение

Проведенный анализ литературы показал, что интеграция 3D-технологий и цифровых баз данных уже сейчас приводит к революционным изменениям в судебной стоматологии. Современные методы трехмерного сканирования, компьютерного моделирования и искусственного интеллекта формируют новую парадигму экспертной практики, обеспечивая беспрецедентную точность и эффективность процессов идентификации личности. Особое значение эти технологии приобретают в контексте массовых катастроф и криминалистических расследований, где традиционные методы демонстрируют ограниченную эффективность.

Ключевым достижением становится создание комплексных цифровых экосистем, объединяющих 3D-моделирование, базы стоматологических историй болезни и алгоритмы машинного обучения. Нейронные сети, в частности сверхточные архитектуры, позволяют автоматизировать процессы сравнения до- и постмортальных данных, анализа морфологических особенностей и установления биологического профиля. Точность определения возраста с применением глубокого обучения достигает 94%, что существенно превосходит возможности традиционных методов.

Однако внедрение этих технологий сталкивается с некоторыми проблемами, включая высокую стоимость оборудования, необходимость специализированной подготовки кадров, проблемы стандартизации и обеспечения кибербезопасности. Отсутствие единых протоколов для различных архитектур машинного обучения ограничивает возможности их широкого практического применения.

Перспективы развития связаны с созданием облачных платформ для межведомственного взаимодействия, разработкой унифицированных стандартов обработки данных и совершенствованием AI-алгоритмов для работы со сложными случаями. Дальнейшая интеграция 3D-технологий и искусственного интеллекта позволит сформировать единое цифровое пространство судебной стоматологии, обеспечивающее новый стандарт достоверности и эффективности экспертных исследований.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflict of interests.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Андреева С.Н., Салагай О.О. Анализ особенностей судебно-медицинских экспертиз по стоматологии на основании изучения судебной практики за 2013-2022 гг. *Судебно-медицинская экспертиза*. 2023;66(1):5-8.
Andreeva SN, Salagai OO. Analiz osobennostei sudebno-meditsinskikh ekspertiz po stomatologii na osnovanii izucheniya sudebnoi praktiki za 2013—2022 gg. *Sudebno-meditsinskaya ekspertiza*. 2023;66(1):5-8. (In Russ.).
https://doi.org/10.17116/sudmed202366011
2. Золотенкова Г.В., Рогачев А.И., Пиголкин Ю.И., Еделев И.С., Борщевская В.Н., Камерьер Р. Возрастная классификация в судебной медицине с использованием методов машинного обучения. *Современные технологии в медицине*. 2022;14(1):15-22.
Zolotenkova GV, Rogachev AI, Pigolkin YuI, Yedelev IS, Borshchevskaya VN, Kamerer R. Vozrastnaya klassifikatsiya v sudebnoi meditsine s ispolzovaniem metodov mashinnogo obucheniya. *Sovremennie Tekhnologii v Meditsine*. 2022;14(1):15-22. (In Russ.).
https://doi.org/10.17691/stm2022.14.1.02
3. Шанина А.Ю. Применение искусственного интеллекта в стоматологии. *Стоматология*. 2023;6(132):1-5.
Shanina AYu. Primenenie iskusstvennogo intellekta v stomatologii. *Stomatology*. 2023;6(132):1-5. (In Russ.).
https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.40
4. Asiri AF, Altuwalah AS. The role of neural artificial intelligence for diagnosis and treatment planning in endodontics: A qualitative review. *Saudi Dent J*. 2022;34(4):270-281.
https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2022.04.004
5. Mohammad N, Ahmad R, Kurniawan A, Mohd Yusof MYP. Applications of contemporary artificial intelligence technology in forensic odontology as primary forensic identifier: A scoping review. *Front Artif Intell*. 2022;6(5):1049584.
https://doi.org/10.3389/frai.2022.1049584.
6. Семенов М.Г., Михайлов В.В., Филиппова А.В., Стеценко А.Г. 3D-моделирование и прототипирование моделей челюстей как этап костно-реконструктивных операций на лицевом отделе черепа у детей. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2015;3(1):38-45.
Semenov MG, Mikhailov VV, Filippova AV, Stetsenko AG. 3D-modelirovanie i prototipirovanie modelei chelyustei kak etap kostno-rekonstruktivnikh operatsii na litsevom otdele cherepa u detei. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitelnaya khirurgiya detskogo vozrasta*. 2015;3(1):38-45. (In Russ.).
7. Janiesch C, Zschech P, Heinrich K. Machine learning and deep learning. *Electr. Markets*. 2021;31:685-695.
https://doi.org/10.1007/s12525-021-00475-2
8. Sun Z, Sandoval L, Crystal-Ornelas R, Mousavi SM, Wang J, Lin C. A review of earth artificial intelligence. *Comput Geosci*. 2022;159:105034.
https://doi.org/10.1016/j.cageo.2022.105034
9. Гапон Н.В., Деревянченко В.П., Сафарьян А.А. Предложение по реализации системы применения интеллектуальных систем в медицине. *Молодой исследователь Дона*. 2025;10(1):20-25.
Gapon NV, Derevyanchenko VP, Safaryan AA. Predlozhenie po realizatsii sistemi primeneniya intellektualnikh sistem v meditsine. *Molodoi issledovatel Dona*. 2025;10(1):20-25. (In Russ.).
10. Shanthamallu S, Spanias A. Machine and deep learning algorithms and applications *Synthesis Lectures on Signal Processing*. 2021;12(3) 1-123.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-03758-0

11. Mohammad N, Muad AM, Ahmad R, Yusof MYPM. Accuracy of advanced deep learning with tensorflow and keras for classifying teeth developmental stages in digital panoramic imaging. *BMC Med Imag.* 2022;22(1):1-13. https://doi.org 10.1186/s12880-022-00794-6

12. Верховский А.Е., Апресян С.В., Степанов А.Г. Современные методы идентификации личности в стоматологии. *Российский стоматологический журнал.* 2024;28(6):624-633.
Verkhovskii AE, Apresyan SV, Stepanov AG. Sovremennie metodi identifikatsii lichnosti v stomatologii. *Rossiiskii stomatologicheskii zhurnal*. 2024; 28(6):624-633. (In Russ.).
https://doi.org/10.17816/dent637462

13. Розов Р.А., Трезубов В.Н., Попов В.Л., Ковалев А.В., Кувакин В.И. Автоматизированное цифровое исследование в судебно-стоматологической экспертизе для сопоставления объемной модели и архивных фотографий полных съемных протезов. *Стоматология.* 2022;101(3):61-69.
Rozov RA, Trezubov VN, Popov VL, Kovalev AV, Kuvakin VI. Avtomatizirovannoe tsifrovoe issledovanie v sudebno-stomatologicheskoi ekspertize dlya sopostavleniya obemnoi modeli i arkhivnikh fotografii polnikh semnikh protezov. *Stomatologiya*. 2022;101(3):61-69. (In Russ.).
https://doi.org/10.17116/stomat202210103161

14. Kováč P, Jackuliak P, Bražinová A, Varga I, Aláč M, Smatana M, Lovich D, Thurzo A. Artificial Intelligence-Driven Facial Image Analysis for the Early Detection of Rare Diseases: Legal, Ethical, Forensic, and Cybersecurity Considerations. *AI.* 2024;5(3):990-1010.

15. Zanjani F, Pourtaherian A, Zinger S, Mound D, Claessen F, Cherici T, Parinussa S, With P. Mask-MCNet: tooth instance segmentation in 3D point clouds of intra-oral scans. *Neurocomputing.* 2021;453:286-298.

16. Kim S, LeeY-H, Noh Y-K, Park FC, Auh Q. Age-group determination of living individuals using first molar images based on artificial intelligence. *Sci Rep.* 2021;11(1):1073.
https://doi.org/10.1038/s41598-020-80182-8

17. Khanagar SB, Vishwanathaiah S, Naik S, Al-Kheraif AA, Divakar DD, Sarode SC. Application and performance of artificial intelligence technology in forensic odontology. — A systematic review. *Legal Med.* 2021;48:101826.
https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2020.101826

18. Johnson A, Gandhi B, Joseph SEA. Morphological study of tongue and its role in forensics odontology. *J Forens Sci Crim Inves.* 2018;7(5):1-5.
https://doi.org/10.19080/JFSCI.2018.07.555723

19. Jeddy N, Ravi S, Radhika T. Current trends in forensic odontology. *J Foren Dent Sci.* 2017;9(3): 115-119.
https://doi.org/10.4103/jfo.jfds_85_16

20. Li M, Wang Z, Chen X, Xia G, Zheng Y, Huang C, Li Z. Application of deep learning in isolated tooth identification. *BMC Oral Health.* 2024;24(1):500.
https://doi.org/10.1186/s12903-024-04274-x

21. Jain S, Singh K, Gupta MR, Bagri G, Vashistha DK, Soangra R. Role of forensic odontology in human identification: A review. *Int J Appl Dent Sci*. 2020;6(1):109-111.

Поступила 21.10.2025
Received 21.10.2025
Принята в печать 24.11.2025
Accepted 24.11.2025