

АЛГОРИТМ СОПОСТАВЛЕНИЯ ПРИЖИЗНЕННЫХ И ПОСМЕРТНЫХ ЛУЧЕВЫХ ДАННЫХ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПО ИМПЛАНТАТАМ

Камальян А. В. ORCID ID 0009-0004-6139-0898

*Автономная некоммерческая организация
«Научно-исследовательский центр судебной экспертизы и исследований»,
Москва, Российская Федерация, e-mail: ashothirurg@mail.ru*

Актуальность исследования обусловлена необходимостью воспроизводимого сопоставления прижизненных и посмертных данных лучевых исследований при идентификации личности по стоматологическим имплантатам. Цель исследования заключалась в обосновании последовательного экспертного алгоритма, определении критериев сопоставимости данных, уровней достоверности выводов и ограничений их интерпретации. Проведен структурированный аналитический обзор публикаций за 2018–2026 гг. с дополнительным включением международных стандартов, сохраняющих научную и практическую актуальность. Поиск литературы осуществлялся в библиографических и научных информационных системах PubMed, Medical Literature Analysis and Retrieval System Online, Crossref, Google Scholar и eLIBRARY.RU. Нормативные и методические документы проверялись на официальных ресурсах INTERPOL и ISO. В ходе первоначального поиска выявлена 31 библиографическая запись. После удаления дубликатов проведена оценка 27 полнотекстовых материалов. Два материала были исключены вследствие отсутствия непосредственной судебно-медицинской применимости или возможности подтвердить их публикационный статус. В итоговый качественный анализ включено 25 источников. Установлено, что экспертный алгоритм должен предусматривать проверку происхождения и достоверности прижизненной медицинской документации; получение и сохранение исходных посмертных данных компьютерной томографии и конусно-лучевой компьютерной томографии; нормализацию плоскостей реконструкции; описание устойчивых конструктивных признаков стоматологических имплантатов; раздельную оценку допустимых расхождений и критических противоречий; независимую экспертную проверку результатов; формулирование вывода с указанием установленного уровня достоверности. Артефакты компьютерной томографии и конусно-лучевой компьютерной томографии не могут рассматриваться как самостоятельные идентификационные признаки. Они должны учитываться как факторы, влияющие на визуализацию, доступность и достоверность оценки устойчивых признаков стоматологических имплантатов. Применение технологий искусственного интеллекта допустимо только для предварительного поиска и классификации изображений при условии внешней валидации используемых моделей и обязательной проверки результатов специалистом. Предложенный алгоритм может иметь потенциальное доказательственное значение при достаточном объеме и качестве исходных данных, соблюдении требований к их сохранности, отсутствии критических противоречий и последующей апробации метода на ретроспективных наборах прижизненных и посмертных данных.

Ключевые слова: судебная стоматология, судебно-медицинская идентификация, стоматологические имплантаты, прижизненные данные, посмертные данные, компьютерная томография, конусно-лучевая компьютерная томография, дентальные имплантаты, лучевое сопоставление, цифровые базы данных, артефакты, искусственный интеллект, идентификация личности.

ALGORITHM FOR COMPARING ANTE-MORTEM AND POST-MORTEM RADIOLOGICAL DATA IN IMPLANT-BASED IDENTIFICATION

Kamalyan A. V. ORCID ID 0009-0004-6139-0898

*Autonomous Non-Profit Organization Research Center for Forensic Expertise and Research,
Moscow, Russian Federation, e-mail: ashothirurg@mail.ru*

The relevance of the study is determined by the need for reproducible comparison of ante-mortem and post-mortem radiological data in personal identification based on dental implants. The aim of the study was to substantiate a consistent expert algorithm and to define the criteria for data comparability, the levels of reliability of conclusions, and the limitations of their interpretation. A structured analytical review of publications issued between 2018 and 2026 was conducted, with the additional inclusion of international standards that remain scientifically and practically

relevant. The literature search was performed using the PubMed, Medical Literature Analysis and Retrieval System Online, Crossref, Google Scholar, and eLIBRARY.RU bibliographic and scientific information systems. Regulatory and methodological documents were verified using the official resources of INTERPOL and ISO. The initial search identified 31 bibliographic records. After the removal of 4 duplicates, 27 full-text materials were assessed. Two materials were excluded because of the absence of direct forensic applicability or the inability to verify their publication status. A total of 25 sources were included in the final qualitative analysis. It was established that the expert algorithm should include verification of the provenance and reliability of ante-mortem medical documentation; acquisition and preservation of original post-mortem computed tomography and cone-beam computed tomography data; normalization of reconstruction planes; description of stable structural characteristics of dental implants; separate assessment of acceptable discrepancies and critical contradictions; independent expert verification of the results; and formulation of a conclusion indicating the established level of reliability. Computed tomography and cone-beam computed tomography artifacts cannot be regarded as independent identification features. They should be considered factors affecting the visualization, accessibility, and reliability of the assessment of stable dental implant characteristics. The use of artificial intelligence technologies is acceptable only for preliminary image retrieval and classification, provided that the models used have undergone external validation and that the results are subject to mandatory verification by a specialist. The proposed algorithm may have potential evidentiary value provided that the source data are sufficient in quantity and quality, the requirements for their preservation are met, no critical contradictions are identified, and the method is subsequently validated using retrospective sets of ante-mortem and post-mortem data.

Keywords: forensic dentistry, forensic identification, dental implants, antemortem data, postmortem data, computed tomography, cone-beam computed tomography, dental implants, radiographic matching, digital databases, artifacts, artificial intelligence, personal identification.

Введение

Сопоставление прижизненных и посмертных лучевых данных является одним из наиболее ответственных этапов судебно-стоматологической идентификации. В отличие от обычного описания стоматологического статуса, такая процедура предполагает проверку соответствия двух информационных массивов: данных, полученных при жизни человека, и данных, зафиксированных после смерти. При наличии стоматологических имплантатов задача становится одновременно более перспективной и более сложной. Перспективной она является потому, что имплантат может сохранять форму, локализацию и конструктивные признаки даже при повреждении мягких тканей. Сложность связана с тем, что посмертные лучевые изображения могут быть искажены артефактами, фрагментацией челюстей, посмертным смещением, термическим воздействием, утратой ортопедических конструкций и неполнотой прижизненной документации. Судебная практика по стоматологическим экспертизам показывает, что качество экспертного вывода зависит не только от наличия стоматологического объекта, но и от корректности его интерпретации в конкретной экспертной ситуации [1].

Для идентификации по имплантатам принципиальное значение имеет не сам факт выполненной имплантации, а возможность доказательно сопоставить совокупность признаков. К таким признакам относятся зубной ряд и позиция имплантата, направление его оси, глубина установки, отношение к анатомическим ориентирам, форма тела, резьбовой профиль, апикальная часть, платформа, тип соединения, абатмент, ортопедическая надстройка, а также признаки

периимплантатной зоны. Прижизненная медицинская документация фиксирует эти сведения неравномерно: в одних случаях доступны только записи в карте, в других – ортопантомограмма, прицельные снимки, КЛКТ, цифровой план имплантации, данные хирургического шаблона или сведения о системе имплантации. Поэтому алгоритм сопоставления должен начинаться с оценки достоверности и полноты документации, поскольку нормативная и организационная сторона ведения стоматологических записей прямо влияет на последующую экспертную пригодность материалов [2].

Развитие цифровых методов судебной стоматологии меняет содержание экспертного сопоставления. Если ранее основное внимание уделялось визуальному сравнению снимков и схем зубного статуса, то в современных условиях все большее значение приобретают трехмерные данные, цифровые архивы, автоматизированная регистрация изображений и алгоритмы предварительного поиска сходных объектов. Искусственный интеллект может использоваться для ориентировочной классификации стоматологических объектов, но его результат не является самостоятельным судебно-медицинским выводом и должен проверяться экспертом на исходных изображениях [3]. Цифровые базы данных, 3D-модели и стандартизированное хранение стоматологических изображений позволяют повысить воспроизводимость сопоставления, однако одновременно требуют строгого контроля источника данных, даты исследования, формата изображения и условий получения посмертного скана [4].

Таким образом, тема алгоритмизации сопоставления прижизненных и посмертных лучевых данных по имплантатам имеет практическое значение для случаев массовых катастроф, пожаров, криминальных ситуаций, обнаружения фрагментированных останков и невозможности быстрой генетической идентификации. Эксперту необходимо не только обнаружить имплантат, но и последовательно ответить на вопросы: является ли посмертно выявленный объект сопоставимым с прижизненным изображением; какие признаки совпадают; какие различия объясняются качеством лучевого исследования, артефактами или посмертными изменениями; достаточно ли совпадений для вероятностного или категорического вывода; какие ограничения должны быть указаны в заключении.

Цель исследования – обосновать алгоритм сопоставления прижизненных и посмертных лучевых данных при судебно-медицинской идентификации по стоматологическим имплантатам, определить ключевые этапы экспертного анализа, критерии сопоставимости данных и

ограничения интерпретации при использовании КТ, КЛКТ, цифровой документации и вспомогательных алгоритмов искусственного интеллекта.

Материал и методы исследования

Исследование выполнено на базе Научно-исследовательского центра судебной экспертизы и исследований (Москва, Россия) в формате структурированного аналитического обзора. Научные публикации отбирались за период с 1 января 2018 г. по 14 июля 2026 г. Международные стандарты и официальные руководства включались независимо от года издания при условии сохранения их актуального статуса и прямой применимости к идентификации, обработке АМ/РМ-данных или цифровых доказательств.

Поиск выполнялся по индексам PubMed/MEDLINE, Crossref, Google Scholar и eLIBRARY.RU. Для англоязычного поиска использовались сочетания терминов forensic dentistry OR forensic odontology, dental implant*, ante-mortem, post-mortem, human identification, computed tomography, cone-beam computed tomography, CBCT, radiograph*, artifact* и artificial intelligence. Русскоязычный поиск включал такие сочетания, как «судебная стоматология», «судебно-медицинская идентификация», «стоматологические имплантаты», «прижизненные данные», «посмертные данные», «КТ», «КЛКТ», «артефакты» и «искусственный интеллект». Нормативно-методические документы дополнительно проверялись на официальных ресурсах INTERPOL и ISO.

Критериями включения являлись: прямое отношение к судебно-стоматологической идентификации или сопоставлению АМ/РМ-данных; наличие проверяемых библиографических сведений; описание КТ, КЛКТ, рентгенографии, цифровой документации, конструктивных признаков имплантатов, артефактов или алгоритмов их классификации; для стандартов – издание признанной международной организацией и действующий либо применимый статус. Исключались дублирующие записи, рекламные материалы, публикации без проверяемых выходных данных, работы исключительно общеклинической направленности и исследования, не позволяющие перенести результаты на экспертное сопоставление.

В итоговый качественный синтез включено 25 источников, непосредственно соответствующих теме сопоставления прижизненных и посмертных лучевых данных при идентификации по стоматологическим имплантатам. В состав источников вошли рецензируемые отечественные и зарубежные научные публикации, международные руководства по идентификации жертв массовых катастроф, стандарты работы с цифровыми доказательствами, а также методические документы, посвященные прозрачности литературных обзоров и оценке надежности медицинских систем искусственного интеллекта.

Качество научных источников оценивалось по соответствию цели обзора, прозрачности методики, наличию DOI или устойчивого официального адреса, описанию выборки и ограничений. Для исследований искусственного интеллекта дополнительно учитывались многоцентровость, независимость тестового набора, внешняя валидация, состав классов и воспроизводимость. Для руководств и стандартов оценивались полномочия организации-разработчика, актуальность версии и применимость к сохранению, сопоставлению и документированию исходных данных. Из-за неоднородности дизайнов, методов визуализации и показателей эффективности метаанализ не проводился; использованы сравнительный анализ, систематизация признаков и экспертная интерпретация ограничений.

Результаты исследования и их обсуждение

Алгоритм сопоставления прижизненных и посмертных лучевых данных должен строиться как последовательная экспертная процедура, а не как простое визуальное сравнение двух снимков. Международная практика дентальной идентификации использует структурированное кодирование стоматологических признаков, включая данные, получаемые с помощью конусно-лучевой компьютерной томографии и панорамной рентгенографии [5]. Для имплантатов это особенно важно, поскольку один и тот же объект может быть представлен в разных проекциях, с различным масштабом, разной степенью артефактов и неодинаковой полнотой отображения абатмента или ортопедической конструкции. Следовательно, первым методическим условием является перевод разнородных лучевых данных в сопоставимый экспертный формат.

Второе условие связано с тем, что стоматологические имплантаты могут иметь идентификационное значение не изолированно, а в контексте всего стоматологического статуса. Систематический анализ публикаций о роли имплантатов в судебной идентификации показывает, что они могут использоваться как значимые идентификационные признаки, однако их оценка требует учета локализации, конструктивных параметров, медицинской документации и сохранности сопутствующих стоматологических данных [6]. Поэтому алгоритм должен разделять признаки на основные, дополнительные и ограничивающие. Основными являются локализация имплантата, пространственная ориентация, отношение к соседним зубам или дефектам зубного ряда, размеры и форма тела. Дополнительными являются признаки платформы, абатмента, коронки, винтового канала, ортопедической надстройки и возможного производителя. Ограничивающими являются артефакты, низкое качество снимка, неполное поле обзора, отсутствие метаданных и признаки посмертного повреждения.

Начальный этап алгоритма состоит в сборе и верификации прижизненных данных. Эксперт должен установить, какие материалы относятся к предполагаемому лицу, кем и когда

они созданы, отражают ли они период после установки имплантата, не было ли последующих операций, переустановки абатмента, замены коронки или удаления конструкции. В эту группу входят стоматологические карты, планы лечения, выписки, счета с указанием системы имплантации, ортопантограммы, прицельные рентгенограммы, КТ, КЛКТ, интраоральные сканы, цифровые модели и фотографии. При наличии только текстовой записи без изображения доказательное значение ниже, поскольку запись фиксирует факт лечения, но не всегда позволяет проверить геометрию имплантата и его положение. При наличии КТ или КЛКТ прижизненный массив должен быть сохранен в исходном формате, предпочтительно DICOM, чтобы эксперт мог оценить срезы, плоскости реконструкции и метаданные исследования.

Следующий этап – получение посмертных лучевых данных. В судебной стоматологии КЛКТ рассматривается как перспективный инструмент, позволяющий детализировать зубочелюстные структуры и стоматологические конструкции в трехмерном формате [7]. Для идентификации по имплантатам посмертное исследование должно быть направлено не только на обнаружение металлического или керамического объекта, но и на максимальное сохранение информации о его пространственном положении. Поле обзора должно охватывать соответствующий фрагмент челюсти, соседние зубы или альвеолярные участки, анатомические ориентиры и ортопедическую часть. Если останки фрагментированы, важно зафиксировать положение каждого фрагмента до извлечения имплантата, поскольку механическое перемещение может создать ложное представление о первоначальной локализации.

На этапе выбора метода визуализации следует учитывать, что рекомендации по применению КЛКТ в имплантологии акцентируют значение показаний, параметров сканирования, разрешения и дозовой нагрузки [8]. В судебно-медицинской ситуации задача иная, чем при планировании лечения: приоритетом становится не клиническое принятие решения, а получение сопоставимого, воспроизводимого и доказательно пригодного изображения. Поэтому протокол посмертного КТ или КЛКТ должен обеспечивать достаточную детализацию резьбы, платформы, апикальной части, абатмента и окружающей костной ткани. При этом чрезмерное повышение разрешения без учета артефактов не гарантирует лучшего результата, если металлические компоненты перекрывают мелкие признаки или искажают контуры периимплантатной зоны.

После получения данных проводится нормализация сравнения. Она включает выбор одинаковых или максимально близких плоскостей просмотра, реконструкцию продольных и поперечных срезов через ось имплантата, оценку масштаба, устранение различий, связанных с положением головы или фрагмента челюсти, и выделение постоянных анатомических

ориентиров. Прижизненный панорамный снимок не должен напрямую сопоставляться с посмертным КЛКТ как изображение равной диагностической природы: панорамная рентгенография имеет проекционные искажения, тогда как КЛКТ позволяет работать с объемом. В таких случаях сравнение должно строиться на признаках, устойчивых к различиям метода: позиция имплантата в зубном ряду, наклон оси, отношение к соседним структурам, наличие или отсутствие дополнительных имплантатов, конфигурация ортопедической конструкции.

Оценка артефактов является отдельным ограничивающим этапом алгоритма. Интегративные обзоры показывают, что выраженность артефактов КЛКТ в присутствии дентальных имплантатов зависит от материала, параметров сканирования, положения объекта и алгоритма реконструкции [9]. Артефакт не является самостоятельным идентификационным признаком: он не подтверждает производителя, материал или тождество объекта, а только изменяет доступность устойчивых геометрических и конструктивных признаков. Расширение видимого контура, утрата резьбового профиля, искажение платформы или ложное впечатление периимплантатного дефекта должны проверяться на соседних срезах, в альтернативных плоскостях и по исходному массиву изображений.

Параметры экспозиции и настройки КЛКТ также влияют на выраженность периимплантатных артефактов [10]. Это означает, что расхождения между прижизненным и посмертным изображением могут быть обусловлены не изменением имплантата, а различием протоколов. Например, на одном исследовании резьбовой профиль может быть различим достаточно четко, а на другом – частично теряться из-за толщины среза, шума, движения, поля обзора или алгоритмов реконструкции. В алгоритме сопоставления такие различия должны фиксироваться отдельно: эксперт указывает, какие признаки доступны для сравнения, какие недоступны, а какие не могут быть оценены без риска ошибочного вывода.

Отдельного внимания требует материал имплантата и ортопедических компонентов. Количественные исследования артефактов от титановых и циркониевых имплантатов в трехмерных моделях, полученных при мультиспиральной КТ и КЛКТ, показывают, что протокол сканирования может существенно влиять на выраженность и характер искажений [11]. Следовательно, материал нельзя определять только по общей интенсивности артефакта без дополнительных данных. В практическом алгоритме материал рассматривается как вероятностный фактор: он помогает объяснить степень искажения изображения, но не должен превращаться в самостоятельное основание для вывода о конкретной имплантационной системе.

Использование алгоритмов подавления металлических артефактов может улучшать визуализацию, но одновременно изменять вид отдельных контуров. Исследования, посвященные

влиянию алгоритма снижения артефактов на КЛКТ-изображения титановых и циркониевых имплантатов, указывают на зависимость результата от нахождения объекта в поле обзора и от особенностей конкретного протокола [12]. В судебно-медицинском сопоставлении это означает, что эксперт должен сохранять и анализировать как исходные изображения, так и изображения после программной обработки. Нельзя формулировать вывод только по обработанной реконструкции, если она может сглаживать мелкие конструктивные признаки или создавать видимость большей четкости, чем имеется в исходных данных.

Центральным блоком алгоритма является описание имплантационной системы по устойчивым лучевым признакам. Сначала определяется локализация: верхняя или нижняя челюсть, сторона, позиция по зубному ряду, отношение к анатомическим ориентирам. Затем оценивается геометрия: цилиндрическая, коническая или комбинированная форма тела; длина и примерный диаметр; форма апикальной части; характер шейки; направление оси; наличие выраженного наклона. После этого анализируется резьбовой профиль: шаг, глубина, равномерность, агрессивность апикальной резьбы, различие резьбы в шейной и апикальной зонах. Далее описываются платформа, тип соединения, абатмент и ортопедическая надстройка. Такая последовательность позволяет избежать ошибки, когда эксперт сразу пытается определить производителя, не выполнив базовое описание объекта.

Сопоставление прижизненных и посмертных данных должно проводиться от общих признаков к частным. На первом уровне проверяется совпадение числа имплантатов и их локализации. На втором уровне оценивается совпадение положения и оси каждого имплантата относительно анатомических ориентиров. На третьем уровне сопоставляются конструктивные признаки: форма тела, апикальная часть, резьба, платформа, абатмент и ортопедическая надстройка. На четвертом уровне анализируются индивидуализирующие обстоятельства: сочетание нескольких имплантатов, их взаимное расположение, особенности протезной конструкции, связь с соседними зубами, наличие костных дефектов или периимплантатных изменений. На пятом уровне учитываются документальные сведения о системе имплантации и цифровые данные производителя, если они доступны и верифицируемы.

При этом алгоритм должен различать совпадения, допустимые расхождения и критические противоречия. Допустимыми расхождениями могут быть различия масштаба, проекционные искажения панорамного снимка, частичная утрата ортопедической конструкции, посмертное разрушение кости, изменение визуализации резьбы из-за артефактов или иной плоскости среза. Критическими противоречиями являются несовпадение стороны, позиции в зубном ряду, числа имплантатов, грубое несоответствие формы и размеров, отсутствие на прижизненных данных

имплантата, который должен был быть видим после предполагаемой даты установки, или наличие посмертного объекта, не объяснимого доступной стоматологической историей. Разграничение этих категорий препятствует как чрезмерно категоричным выводам, так и необоснованному отказу от идентификационного значения имплантата.

Искусственный интеллект может быть включен в алгоритм только как вспомогательный инструмент. Систематические обзоры показывают, что модели ИИ применяются для идентификации и классификации дентальных имплантатов по лучевым изображениям, однако показатели точности зависят от состава обучающих данных, типа снимков, числа классов, баланса производителей, качества изображения и способа валидации [13]. Результат модели не должен подменять экспертную оценку и не может использоваться как самостоятельное основание для вывода о соответствии АМ/РМ-данных.

Многоцентровые исследования демонстрируют потенциал глубокого обучения для классификации имплантационных систем [14]. Вместе с тем клинические рентгенограммы и посмертные изображения не являются взаимозаменяемыми доменами данных. Фрагментация челюстей, термическое воздействие, посмертное смещение, неполное поле обзора и иные протоколы реконструкции способны формировать систематическую ошибку переноса. Поэтому заявленная на клинической выборке точность не может автоматически распространяться на судебно-медицинские случаи без независимой внешней проверки на посмертных данных.

На изображениях низкого качества автоматизированный поиск может сохранять ориентирующее значение [15], но эксперт обязан документировать версию программного средства, состав базы сравнения, порог решения, условия предобработки и результат ручной проверки. До применения ИИ должно выполняться независимое описание имплантата экспертом, чтобы исключить некритическую подгонку признаков под автоматически предложенный класс. При отсутствии внешней валидации, репрезентативных РМ-изображений и анализа ошибок результат ИИ следует обозначать только как поисковую гипотезу.

Нормативно-методическая интеграция алгоритма

Алгоритм должен быть встроен в общую процедуру идентификации, а не применяться как автономная схема. Руководство INTERPOL по идентификации жертв бедствий закрепляет последовательность scene – РМ – АМ – reconciliation, относит судебную одонтологию к первичным методам идентификации и требует опоры на совокупность сопоставимых данных [16].

На посмертном этапе необходимо присваивать материалам единый РМ-номер, фиксировать исходное положение объектов, выполнять требуемую фотосъемку и лучевое исследование, а цифровые изображения хранить в постоянном защищенном архиве с резервной

копией [17]. Для имплантатов это означает сохранение исходного DICOM-массива, параметров сканирования, необработанных реконструкций и связи каждого файла с конкретным фрагментом челюсти.

Прижизненный массив должен включать оригинальные стоматологические карты, планы лечения, рентгенограммы, КТ/КЛКТ, цифровые модели и сведения о датах лечения. АМ-документы должны быть маркированы данными пациента, датами исследования и источником получения, а передача оригиналов должна документироваться [18]. Если принадлежность записи предполагаемому лицу или ее хронология не подтверждены, такие сведения не могут считаться полноценным основанием для сравнения.

На этапе reconciliation программный поиск допустим для предварительного ранжирования совпадений, однако окончательное решение принимается специалистами по всем релевантным критериям. INTERPOL предусматривает контроль качества АМ- и РМ-данных, ручную проверку найденных совпадений, независимую верификацию вторым экспертом и подготовку заключения с указанием уровня вывода [19].

Для судебно-одонтологического сопоставления применимы уровни: идентификация, вероятная идентификация, возможная идентификация, исключение личности и недостаточность данных [20]. В предлагаемом алгоритме эти категории конкретизированы через обязательные совпадения, допустимые расхождения и критические противоречия; ни количество совпадений, ни результат программной классификации сами по себе не образуют категорического вывода.

Управление качеством должно охватывать компетентность экспертов, документирование ролей, контроль исходных данных, прослеживаемость действий, независимую проверку и хранение материалов. Руководство INTERPOL по управлению качеством распространяет эти требования на судебную одонтологию, радиографию, АМ/РМ-документацию и reconciliation [21].

Исходные DICOM-файлы, экспортированные изображения и результаты программной обработки следует рассматривать как цифровые материалы, потенциально имеющие доказательственное значение. Их идентификация, получение, копирование и хранение должны обеспечивать целостность, прослеживаемость и документирование действий; этим принципам соответствует ISO/IEC 27037:2012 [22]. Практически необходимы раздельное хранение оригинала и рабочей копии, контроль доступа, журнал операций, фиксация контрольных сумм и невозможность незаметной перезаписи исходного массива.

Анализ и интерпретация цифровых изображений должны быть воспроизводимыми и допускать независимую проверку. ISO/IEC 27042:2015 требует документировать выбранные методы, параметры обработки, основания их выбора и сведения, достаточные для повторения

исследования другим специалистом [23]. Поэтому экспертное заключение должно содержать перечень файлов, примененные реконструкции, программные средства, последовательность измерений, недоступные признаки и влияние обработки на интерпретацию.

Применение ИИ дополнительно требует оценки справедливости, универсальности, прослеживаемости, удобства использования, устойчивости и объяснимости. Международное руководство FUTURE-AI указывает на необходимость внешней валидации, анализа смещения данных, документирования жизненного цикла модели и контроля ее работы после внедрения [24]. Для судебно-медицинской задачи обязательным условием является проверка на независимых РМ-наборах, включающих различные аппараты, протоколы, материалы имплантатов, повреждения и уровни качества изображения.

Таблица 1

Формализованный алгоритм сопоставления
прижизненных и посмертных лучевых данных

Этап	Содержание	Контроль и ограничения	Результат
1. Верификация АМ-данных	Подтверждение принадлежности, источника, даты и полноты карт, снимков, КТ/КЛКТ и цифровых моделей	Неустановленное происхождение, отсутствие даты, возможное лечение после снимка	Перечень пригодных АМ-материалов
2. Получение РМ-данных	Фиксация положения фрагмента, КТ/КЛКТ, сохранение исходного DICOM и параметров исследования	Фрагментация, смещение, неполное поле обзора, повреждение конструкции	Верифицированный РМ-массив
3. Нормализация	Выбор сопоставимых плоскостей и срезов через ось имплантата; учет масштаба и проекционных искажений	Панорамный снимок и КЛКТ не сравниваются как изображения одинаковой природы	Сопоставимый набор представлений
4. Описание признаков	Число, локализация, ось, форма тела, апикальная часть, резьба, платформа, соединение, абатмент и надстройка	Производитель не определяется до базового описания; артефакт не является признаком тождества	Стандартизированный профиль имплантата
5. Сравнение	Раздельная оценка основных, дополнительных и индивидуализирующих признаков	Допустимые расхождения отделяются от критических противоречий	Матрица совпадений и расхождений
6. Проверка данных	Контроль исходных файлов, метаданных, обработки, цифровых баз и результатов ИИ	ИИ используется только как поисковая гипотеза; обработанные изображения проверяются по оригиналу	Оценка воспроизводимости и ограничений
7. Независимая верификация	Повторная оценка вторым экспертом без подмены исходных данных	Фиксируются расхождения между экспертами и способ их разрешения	Подтвержденный или пересмотренный результат

8. Формулирование вывода	Указание совпадающих признаков, ограничений, противоречий и уровня соответствия	Категоричность не должна превышать качество и полноту исходных данных	Экспертный вывод установленного уровня
-----------------------------	---	---	--

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования

Формализация этапов позволяет отделить получение данных от их интерпретации и исключить ситуацию, при которой вывод формируется до оценки качества и происхождения исходных материалов. Каждый этап должен быть отражен в рабочем протоколе и в итоговом заключении в объеме, позволяющем провести повторную проверку.

Таблица 2

Критерии уровней соответствия АМ/РМ-данных

Уровень	Критерии	Допустимая формулировка
Недостаточно данных	АМ- или РМ-материал непригоден; отсутствуют сопоставимые признаки; артефакты или повреждения исключают надежную оценку	Сопоставление невозможно; данных недостаточно
Возможное соответствие	Критических противоречий нет, но совпадают только отдельные общие признаки либо один из массивов минимален	Имеющиеся данные не исключают принадлежность, но недостаточны для вероятного вывода
Вероятное соответствие	Совпадают число и локализация имплантатов, их ось и не менее двух независимых групп конструктивных признаков; критические противоречия отсутствуют	Выявлена согласованная совокупность признаков, указывающая на вероятное соответствие
Высокая степень соответствия	Совпадают число, локализация, ориентация, геометрия, резбовой профиль, платформа/соединение, ортопедическая часть и верифицированные документальные сведения; результат подтвержден вторым экспертом	Установлена высокая степень соответствия АМ/РМ-данных
Идентификация	Имеется достаточный индивидуализирующий комплекс, исключены существенные альтернативы и критические противоречия, выполнена независимая проверка и соблюдена компетентная процедура утверждения	АМ- и РМ-данные относятся к одному лицу
Исключение личности	Несовпадение стороны, позиции, числа имплантатов либо несовместимая форма/размер, которые не объясняются хронологией лечения, повреждением или различием метода визуализации.	АМ- и РМ-данные относятся к разным лицам

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования

Практическое применение алгоритма начинается с формирования перечня АМ-материалов и заканчивается выводом, основанным на матрице совпадений, допустимых расхождений и критических противоречий. Для каждого имплантата результаты фиксируются отдельно, после

чего оценивается их совокупное взаимное расположение, связь с анатомическими ориентирами и документированная история лечения. Заключение должно перечислять признаки, поддерживающие соответствие, признаки с ограниченной оценимостью и обстоятельства, снижающие достоверность.

Уровень вывода определяется не механическим числом совпадений, а их независимостью, устойчивостью к различиям метода визуализации и способностью исключать альтернативные объяснения. Вероятное соответствие требует совпадения основных пространственных признаков и нескольких независимых конструктивных групп без критических противоречий. Высокая степень соответствия дополнительно предполагает согласованность ортопедической части и документальных сведений, а также независимую проверку. Любое необъяснимое противоречие по стороне, позиции, числу или принципиальной геометрии исключает положительный вывод.

Типичные ошибки при сопоставлении связаны с нарушением последовательности алгоритма. К ним относятся: признание имплантата идентичным только по факту наличия в одной позиции; игнорирование различий между панорамным снимком и КЛКТ; принятие артефакта за резбовой или периимплантатный признак; вывод о производителе только по форме тела; недооценка замены абатмента или коронки после прижизненного снимка; смешение посмертного смещения с прижизненным положением; использование обработанных реконструкций без проверки исходных данных; некритическое принятие результата ИИ. Предотвращение этих ошибок возможно только при документировании каждого этапа анализа и сохранении исходного массива изображений.

Алгоритм сопоставления должен быть воспроизводимым. Это означает, что в экспертном заключении необходимо указывать перечень изученных прижизненных материалов, формат и дату посмертного исследования, примененные реконструкции, выявленные признаки, причины признания признаков сопоставимыми или несопоставимыми, влияние артефактов, сведения о программной обработке и степень достоверности вывода. Если использовались цифровые базы или ИИ, эксперт должен описать их вспомогательную роль, но не подменять ими собственное судебно-медицинское суждение. Такой подход обеспечивает прозрачность вывода и позволяет повторно проверить ход сопоставления другим специалистом.

Судебно-медицинское значение предлагаемого алгоритма заключается в переводе идентификации по имплантатам из описательной находки в структурированное сравнительное исследование. Потенциальное доказательное значение возникает только при проверенной принадлежности АМ-документации, сохранности исходных РМ-данных, воспроизводимом описании признаков, отсутствии критических противоречий и независимой верификации

результата. До завершения практической апробации алгоритм следует рассматривать как научно-методическую модель, а не как самостоятельно валидированную экспертную процедуру.

Ограничения исследования и направления апробации. Обзор ограничен неоднородностью методов визуализации, отсутствием единого набора количественных критериев для имплантатов и преобладанием клинических, а не посмертных изображений в исследованиях ИИ. Структура поиска и отбора описана с учетом принципов прозрачности PRISMA 2020 [25], однако протокол обзора предварительно не регистрировался, двойное независимое скринирование всех публикаций не проводилось, а статистическое объединение результатов было невозможно из-за различий дизайна и показателей.

Алгоритм требует ретроспективной апробации на верифицированных парах АМ/РМ-данных. В исследовательский протокол необходимо включить случаи с различными системами имплантатов, аппаратами, параметрами КТ/КЛКТ, степенью артефактов, фрагментацией и термическими повреждениями. Основными показателями должны стать межэкспертная согласованность, частота ложноположительных и ложноотрицательных совпадений, чувствительность и специфичность критериев, устойчивость к снижению качества изображения и воспроизводимость на внешней выборке. Только после такой проверки возможно нормативное закрепление порогов и формулировок вывода.

Заключение

Сопоставление прижизненных и посмертных лучевых данных по стоматологическим имплантатам может иметь судебно-медицинское значение при условии подтвержденного происхождения документации, сохранения исходных цифровых материалов и последовательного анализа совокупности признаков.

Алгоритм включает верификацию АМ-данных, получение и архивирование РМ-КТ/КЛКТ, нормализацию плоскостей, описание устойчивых пространственных и конструктивных признаков, разграничение допустимых расхождений и критических противоречий, независимую проверку и формулирование вывода установленного уровня.

Артефакты КТ/КЛКТ не могут использоваться как самостоятельный идентификационный признак. Они должны описываться как фактор, ограничивающий или модифицирующий видимость геометрии, резьбы, платформы и периимплантатной зоны. Любая программная обработка оценивается совместно с исходными изображениями.

Цифровые базы и ИИ допустимы для предварительного поиска и классификации, но не заменяют судебно-медицинское суждение. Их применение требует внешней валидации на

посмертных изображениях, документирования модели и параметров обработки, анализа ошибок и ручной проверки каждого предложенного совпадения.

Предложенный алгоритм обладает потенциальным доказательственным значением только при соблюдении перечисленных условий и не должен рассматриваться как валидированная процедура до апробации на ретроспективных АМ/РМ-наборах с оценкой межэкспертной согласованности и частоты ложноположительных совпадений.

Список литературы

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. Т. 66. № 1. С. 5–8. DOI: 10.17116/sudmed2023660115.
2. Вагнер В. Д., Смирнова Л. Е., Журина А. А. Законодательная основа и нормативное правовое регулирование ведения медицинской документации при оказании стоматологической помощи. Стоматология. 2025. № 104 (1). С. 71–75. DOI: 10.17116/stomat202510401171.
3. Верховский А. Е., Апресян С. В., Степанов А. Г. Обзор современных цифровых методов идентификации личности с применением технологии искусственного интеллекта в судебной стоматологии // Стоматология. 2024. Т. 103. № 6. С. 79–82. DOI: 10.17116/stomat202410306179.
4. Камалян А. В. Роль 3D-технологий и цифровых баз данных в современной судебной стоматологии (обзор литературы) // Стоматология. 2026. Т. 105. № 2. С. 60–64. DOI: 10.17116/stomat202610502160.
5. Franco A., Orestes S. G. F., Coimbra E. de F., Thevissen P., Fernandes Â. Comparing dental identifier charting in cone beam computed tomography scans and panoramic radiographs using INTERPOL coding for human identification // Forensic Science International. 2019. Vol. 302. P. 109860. DOI: 10.1016/j.forsciint.2019.06.018.
6. Alwohaibi R. N., Almaimoni R. A., Alshrefy A. J., et al. Dental implants and forensic identification: A systematic review // Journal of Forensic and Legal Medicine. 2023. Vol. 96. P. 102508. DOI: 10.1016/j.jflm.2023.102508.
7. Issrani R., Prabhu N., Sghaireen M. G., Ganji K. K., Alqahtani A. M. A., ALJamaan T. S., Alanazi A. M., Alanazi S. H., Alam M. K., Munisekhar M. S. Cone-Beam Computed Tomography: A New Tool on the Horizon for Forensic Dentistry // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. Vol. 19. Is. 9. P. 5352. DOI: 10.3390/ijerph19095352.

8. Jacobs R., Salmon B., Codari M., Hassan B., Bornstein M. M. Cone beam computed tomography in implant dentistry: recommendations for clinical use // BMC Oral Health. 2018. Vol. 18. № 1. P. 88. DOI: 10.1186/s12903-018-0523-5.
9. Terrabuio B. R., Carvalho C. G., Peralta-Mamani M., Santos P. S. S., Rubira-Bullen I. R. F., Rubira C. M. F. Cone-beam computed tomography artifacts in the presence of dental implants and associated factors: an integrative review // Imaging Science in Dentistry. 2021. Vol. 51. Is. 2. P. 93–106. DOI: 10.5624/isd.20200320.
10. Sawicki P., Zawadzki P. J., Regulski P. The Impact of Cone-Beam Computed Tomography Exposure Parameters on Peri-Implant Artifacts: A Literature Review // Cureus. 2022. Vol. 14. Is. 3. P. e23035. DOI: 10.7759/cureus.23035.
11. Matta R. E., Knapp Giacaman S., Wiesmueller M., Lutz R., Uder M., Wichmann M., Seidel A. Quantitative analysis of zirconia and titanium implant artefacts in three-dimensional virtual models of multi-slice CT and cone beam CT: does scan protocol matter? // Dentomaxillofacial Radiology. 2023. Vol. 52. Is. 8. P. 20230275. DOI: 10.1259/dmfr.20230275.
12. Soltani P., Moaddabi A., Mehdizadeh M., Bateni M. R., Naghdi S., Cernera M., Mirrashidi F., Azimipour M. M., Spagnuolo G., Valletta A. Effect of a metal artifact reduction algorithm on cone-beam computed tomography scans of titanium and zirconia implants within and outside the field of view // Imaging Science in Dentistry. 2024. Vol. 54. Is. 4. P. 313–318. DOI: 10.5624/isd.20240029.
13. Ibraheem W. I. Accuracy of Artificial Intelligence Models in Dental Implant Fixture Identification and Classification from Radiographs: A Systematic Review // Diagnostics. 2024. Vol. 14. Is. 8. P. 806. DOI: 10.3390/diagnostics14080806.
14. Park W., Huh J. K., Lee J. H. Automated deep learning for classification of dental implant radiographs using a large multi-center dataset // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. P. 4862. DOI: 10.1038/s41598-023-32118-1.
15. Lee J. H., Kim Y. T., Lee J. B. Identification of dental implant systems from low-quality and distorted dental radiographs using AI trained on a large multi-center dataset // Scientific Reports. 2024. Vol. 14. P. 12606. DOI: 10.1038/s41598-024-63422-z.
16. INTERPOL. Disaster Victim Identification Guide. Version 2023. Lyon: International Criminal Police Organization; 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://www.interpol.int/en/content/download/589/file/DVI_DVI%20Guide%202023.pdf (дата обращения: 14.06.2026).
17. INTERPOL. Disaster Victim Identification Guide. Annexure 4: Phase 2 > Post Mortem (PM). Version 2023. Lyon: International Criminal Police Organization; 2023. [Электронный ресурс]. URL:

https://www.interpol.int/en/content/download/5752/file/DVI_DVI%20Guide%20Annexure%204.pdf
(дата обращения: 14.06.2026).

18. INTERPOL. Disaster Victim Identification Guide. Annexure 5: Phase 3 > Ante Mortem (AM). Version 2023. Lyon: International Criminal Police Organization; 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://www.interpol.int/en/content/download/5753/file/DVI_DVI%20Guide%20Annexure%205.pdf
(дата обращения: 14.06.2026).

19. INTERPOL. Disaster Victim Identification Guide. Annexure 6: Phase 4 > Reconciliation. Version 2023. Lyon: International Criminal Police Organization; 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://www.interpol.int/en/content/download/5754/file/DVI_DVI%20Guide%20Annexure%206.pdf
(дата обращения: 14.06.2026).

20. INTERPOL. Disaster Victim Identification Guide. Annexure 8: Methods of Identification. Version 2023. Lyon: International Criminal Police Organization; 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://www.interpol.int/en/content/download/5759/file/DVI_DVI%20Guide%20Annexure%208.pdf
(дата обращения: 14.06.2026).

21. INTERPOL DVI Standing Committee. Quality Management Guidelines. Lyon: International Criminal Police Organization. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.interpol.int/en/content/download/587/file/DVI%20Quality%20Management%20Guidelines.pdf> (дата обращения: 14.06.2026).

22. ISO/IEC 27037:2012. Information technology – Security techniques – Guidelines for identification, collection, acquisition and preservation of digital evidence. Geneva: International Organization for Standardization; 2012. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iso.org/standard/44381.html> (дата обращения: 14.06.2026).

23. ISO/IEC 27042:2015. Information technology – Security techniques – Guidelines for the analysis and interpretation of digital evidence. Geneva: International Organization for Standardization; 2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iso.org/standard/44406.html> (дата обращения: 14.06.2026).

24. Lekadir K., Feragen A., Fofanah A. J., et al. FUTURE-AI: International consensus guideline for trustworthy and deployable artificial intelligence in healthcare // BMJ. 2025. Vol. 388. P. e081554. DOI: 10.1136/bmj-2024-081554.

25. Page M. J., McKenzie J. E., Bossuyt P. M., et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews // BMJ. 2021. Vol. 372. Is. 71. DOI: 10.1136/bmj.n71.

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest.

Финансирование: Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.