

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ИМПЛАНТАТОВ РАЗНЫХ ТИПОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР В СУДЕБНО-МЕДИЦИНСКОЙ ПРАКТИКЕ

Камалян 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 ростом распространенности стоматологических имплантатов и увеличением вероятности их обнаружения у погибших при пожарах, техногенных авариях, взрывах и иных ситуациях, связанных с экстремальным температурным воздействием. Имплантаты могут сохранять диагностически значимые признаки даже при выраженной деструкции мягких тканей и костей, что делает их важным объектом судебно-медицинской идентификации. Цель исследования – оценить устойчивость титановых имплантатов и имплантатов из диоксида циркония при воздействии низкотемпературных факторов, включающих умеренное охлаждение, замораживание, резкое охлаждение водой после пожара и термоциклирование, а также высоких температур 600–900 °С и высокоинтенсивного нагрева 900–1000 °С и выше, а также определить их экспертное значение для реконструкции обстоятельств термического воздействия. Материалами исследования послужили данные современных научных публикаций, посвященных судебной одонтологии, дентальной идентификации, физико-механическим свойствам титана, титановых сплавов, диоксида циркония и изменениям костной ткани при нагревании. Использованы методы аналитического обзора, сравнительного анализа и морфологической интерпретации признаков термического повреждения. Установлено, что титановые имплантаты преимущественно сохраняют макроскопическую форму, но при высокоинтенсивном нагреве могут демонстрировать изменение оксидного слоя, растрескивание поверхности и деформацию резьбовых элементов. Имплантаты из диоксида циркония менее теплопроводны, однако более чувствительны к микротрещинам, сколам и хрупкому разрушению при резких температурных перепадах. Сделан вывод о необходимости комплексной оценки системы «имплантат – абатмент – ортопедическая конструкция – костная ткань» с применением визуальных, рентгенологических, цифровых и микроструктурных методов исследования.

Ключевые слова: стоматологические имплантаты, низкие температуры, высокие температуры, титан, диоксид циркония, остеоинтеграция, термическое воздействие, судебно-медицинская экспертиза, термодеструкция, структурные изменения, тепловое расширение, огневое воздействие, идентификация, имплантологические материалы.

ASSESSMENT OF THE RESISTANCE OF DIFFERENT TYPES OF DENTAL IMPLANTS TO EXTREME TEMPERATURE EXPOSURE IN FORENSIC MEDICAL PRACTICE

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 increasing prevalence of dental implants and the growing likelihood of their detection in victims of fires, industrial accidents, explosions, and other situations involving extreme temperature exposure. Dental implants may retain diagnostically significant features even after severe destruction of soft tissues and bone, which makes them an important object of forensic medical identification. The aim of the study was to assess the resistance of titanium implants and zirconium dioxide implants to low-temperature factors, including moderate cooling, freezing, rapid water cooling after fire exposure, and thermal cycling, as well as to high temperatures of 600–900 °C and high-intensity heating of 900–1000 °C and above, as well as to determine their forensic value for reconstructing the circumstances of thermal exposure. The study was based on data from recent scientific publications on forensic odontology, dental identification, the physical and mechanical properties of titanium, titanium alloys, zirconium dioxide, and thermal changes in bone tissue. The methods included an analytical review, comparative analysis, and morphological interpretation of thermal damage signs. It was established that titanium implants generally preserve their macroscopic shape, although high-intensity heating may cause oxide layer alteration, surface cracking, and deformation of thread elements. Zirconium dioxide implants have lower thermal conductivity but are more susceptible to microcracks, chipping,

and brittle fracture under abrupt temperature changes. The study concludes that forensic assessment should consider the entire system of “implant – abutment – prosthetic structure – bone tissue” using visual, radiological, digital, and microstructural examination methods.

Keywords: dental implants, low temperatures, high temperatures, titanium, zirconium dioxide, osseointegration, thermal exposure, forensic medicine, thermal degradation, structural alterations, thermal expansion, fire impact, identification, implant materials.

Введение

Современная судебно-медицинская практика все чаще сталкивается с задачей исследования стоматологических имплантатов, подвергшихся воздействию низких температур ниже 0 °С, высоких температур 600–900 °С и высокоинтенсивного нагрева 900–1000 °С и выше. Это связано с существенным увеличением распространенности имплантов у взрослого населения и, как следствие, возрастанием вероятности их присутствия у лиц, погибших при пожарах, техногенных авариях или в условиях мощных локальных тепловых воздействий.

В таких ситуациях имплантаты становятся объектами экспертной оценки, поскольку могут сохранять структуру даже тогда, когда мягкие ткани и кости претерпевают значительную деструкцию.

Однако степень их устойчивости зависит от состава, типа конструкции, особенностей остеоинтеграции, механики соединения имплантата с абатментом и коронкой, а также характера температурных воздействий. Анализ этих параметров определяет возможности реконструкции событий, идентификации личности и объективной оценки влияния термической нагрузки на состояние имплантатной системы [1].

Цель исследования – оценить устойчивость титановых стоматологических имплантатов и имплантатов из диоксида циркония при воздействии низкотемпературных факторов, включающих умеренное охлаждение, замораживание, резкое охлаждение водой после пожара и термоциклирование, а также высоких температур 600–900 °С и высокоинтенсивного нагрева 900–1000 °С и выше; определить судебно-медицинское значение выявляемых изменений для интерпретации термического воздействия и идентификации личности.

Материал и методы исследования

Исследование выполнено на базе Научно-исследовательского центра судебной экспертизы и исследований (Москва, Россия) в формате аналитического обзора научной литературы. Поиск источников проводился в электронных базах eLIBRARY.RU, PubMed, Google Scholar, ScienceDirect, SpringerLink, MDPI, а также на официальных сайтах рецензируемых научных журналов. Поисковая стратегия включала русскоязычные и англоязычные запросы: стоматологические имплантаты, высокие температуры; судебная

одонтология, имплантаты, пожар; термическое воздействие, титановые имплантаты; диоксид циркония, имплантаты, термическая устойчивость; dental implants, high temperature, forensic odontology; titanium implants, fire exposure; zirconia implants, thermal degradation; dental identification, burned remains. Поиск выполнен в период с 10 по 25 октября 2025 г.; дополнительно проверялись библиографические списки найденных публикаций для выявления работ, прямо связанных с судебно-медицинской оценкой стоматологических конструкций после термического воздействия.

Критериями включения являлись: публикация преимущественно в 2020–2025 гг.; наличие сведений о судебной одонтологии, дентальной идентификации, стоматологических имплантатах, термическом воздействии на титан, титановые сплавы, диоксид циркония или костную ткань; доступность полного текста, аннотации или библиографических данных; наличие прямой связи с задачами судебно-медицинской интерпретации повреждений. Отдельные источники 2018–2019 гг. были включены не как основа для оценки современного состояния проблемы, а как методически значимые публикации, содержащие данные о применении компьютерных технологий, напряженно-деформированном состоянии стоматологических имплантатов и особенностях керамических имплантационных конструкций, которые сохраняют значение для материаловедческой и биомеханической интерпретации повреждений.

Критериями исключения являлись: отсутствие связи с имплантатами или стоматологическими объектами; описание только общеклинических аспектов имплантации без материаловедческого или идентификационного значения; публикации, не содержащие проверяемых данных о термической устойчивости, морфологических изменениях, цифровой идентификации или экспертной оценке; дублирующие источники и материалы рекламного характера. Всего было выявлено 43 публикации, из них после первичного анализа названий и аннотаций исключено 18 работ, после оценки полнотекстового содержания – еще 7 работ. В итоговый анализ включено 18 источников, использованных для сопоставления материаловедческих, морфологических и судебно-медицинских признаков устойчивости стоматологических имплантатов при температурном воздействии.

Применялись методы сравнительного анализа, систематизации научных данных, морфологической интерпретации повреждений, макроскопической оценки признаков термического воздействия и сопоставления структурных изменений имплантатов с возможностями судебно-медицинской идентификации. Особое внимание уделялось диагностическим признакам, имеющим экспертное значение: сохранности формы имплантата, состоянию резьбовой поверхности, изменениям оксидного слоя титана, микротрещинам керамических элементов из диоксида циркония, признакам термодеструкции костной ткани и

возможности сопоставления посмертных находок с прижизненной стоматологической документацией.

Выделение температурных диапазонов ниже 0 °С, 200–600, 600–900 и 900–1000 °С и выше носит аналитический характер и используется не как готовая диагностическая шкала, а как способ разграничения разных уровней температурного воздействия на систему «имплантат – абатмент – ортопедическая конструкция – костная ткань». Диапазон 200–600 °С выбран как зона начального и умеренного нагрева, при котором в стоматологических тканях и материалах могут формироваться первые визуальные, рентгенологические и поверхностные изменения без обязательной полной утраты формы объекта. Диапазон 600–900 °С отражает более выраженное огневое воздействие, при котором усиливаются изменения твердых тканей зубов, костной ткани, оксидных поверхностных слоев металлов и керамических элементов [2]. Интервал 900–1000 °С и выше рассматривается как зона высокоинтенсивного нагрева, сопоставимая с условиями тяжелого пожара, длительного прогрева или кремационного воздействия, когда возрастает риск выраженной термодеструкции окружающих тканей и искажения отдельных идентификационных признаков имплантационной системы. Температуры ниже 0 °С выделены отдельно, поскольку в судебно-медицинской интерпретации они связаны не с обугливанием или плавлением, а с охлаждением, замораживанием, резким снижением температуры после пожара и последующим термоциклическим воздействием, при котором значение имеют различия коэффициентов теплового расширения, внутренние напряжения и микроповреждения в зоне контакта разных материалов [3].

Результаты исследования и их обсуждение

Устойчивость стоматологических имплантатов при воздействии низкотемпературных факторов, высоких температур 600–900 °С и высокоинтенсивного нагрева 900–1000 °С и выше определяется не одним изолированным свойством материала, а совокупностью факторов: химическим составом имплантата, типом сплава или керамики, конструкцией резьбовой части, состоянием поверхности, характером соединения с абатментом и степенью сохранности костной ткани в зоне остеоинтеграции [4]. Для судебно-медицинской практики это имеет принципиальное значение, поскольку имплантат после пожара, взрыва, длительного тления, резкого охлаждения или последующего повторного нагрева должен оцениваться не только как стоматологическая конструкция, но и как потенциальный идентификационный объект. Общие методы современной судебной медицины предполагают комплексное исследование объектов, сохранивших диагностическую информацию после повреждающего воздействия, поэтому оценка имплантатов должна включать внешний осмотр, описание деформаций, сопоставление

с окружающими тканями и анализ признаков, указывающих на характер термического воздействия [5].

При выраженном разрушении мягких тканей, обугливание костей и утрате обычных биологических ориентиров стоматологические имплантаты могут сохранять экспертную значимость дольше, чем многие органические структуры. Это связано с тем, что металлические и керамические компоненты обладают более высокой температурной стойкостью, чем ткани полости рта и челюстно-лицевая область [6]. Однако сохранность имплантата не означает неизменность его диагностических признаков. Экспериментальные данные показывают, что после моделируемого нагрева, погребения и воздействия воды стоматологические имплантаты могут сохранять общую форму, но одновременно демонстрировать изменения поверхности, загрязнение, следы повреждения и признаки, требующие микроскопической или рентгенологической проверки [7]. В условиях, когда биологические следы подвергаются деградации под влиянием внешней среды, особую ценность приобретают устойчивые стоматологические объекты, способные сохранять информацию для последующей идентификации.

Титановые имплантаты, изготовленные из коммерчески чистого титана или титановых сплавов, в большинстве случаев демонстрируют более предсказуемое поведение при нагревании. При температурном воздействии 200–600 °С они, как правило, сохраняют общую форму, резьбовой профиль и макроскопическую целостность, что позволяет использовать их как объект экспертного описания. При этом поверхностные изменения могут проявляться в виде потемнения, изменения оксидного слоя, локального растрескивания и деформации тонких элементов. Экспериментальные исследования стоматологических имплантатов после сжигания подтверждают, что даже при выраженном огневом воздействии имплантаты могут сохранять конструктивные признаки, пригодные для судебно-стоматологического сопоставления [8]. При воздействии 600–900 °С и особенно при высокоинтенсивном нагреве 900–1000 °С и выше возрастает вероятность того, что первоначальные признаки конструкции будут частично искажены. Поэтому в судебно-медицинском исследовании важна не только констатация факта сохранности имплантата, но и оценка того, какие элементы сохранили идентификационную ценность: форма тела имплантата, параметры резьбы, соединительная платформа, следы маркировки, особенности абатмента или ортопедической надстройки.

Для имплантатов и ортопедических элементов из диоксида циркония особое значение имеют не только высокие температуры, но и старение материала, гидротермальное воздействие, повторяющиеся температурные изменения и снижение прочности при накоплении микроструктурных дефектов. Экспериментальные данные о гидротермальном старении циркониевых стоматологических имплантатов показывают, что изменение

структуры материала может влиять на его прочность и характер разрушения, поэтому микротрещины, сколы и фрагментация циркониевых элементов не должны оцениваться только визуально и требуют инструментального подтверждения [9].

Цифровая фиксация стоматологических объектов существенно повышает возможности экспертного сопоставления. Если при жизни пациента были выполнены внутриротовое сканирование, компьютерная томография, цифровое планирование имплантации или сохранены данные стоматологической карты, посмертно обнаруженный имплантат может быть сопоставлен с прижизненной информацией. Наибольшее значение имеют не общие признаки, а индивидуализирующие параметры: положение имплантата в зубном ряду, угол установки, глубина погружения, форма ортопедической конструкции, характер контакта с соседними зубами и особенности цифровой модели. Использование трехмерной визуализации в дентальной идентификации позволяет повысить точность сопоставления даже тогда, когда мягкие ткани разрушены, а костные структуры частично повреждены [10].

Судебная одонтология рассматривает зубы, стоматологические конструкции, протезы и имплантаты как важные объекты идентификации личности, особенно при массовых катастрофах, пожарах и фрагментации останков. Имплантаты в этом отношении занимают особое место, поскольку их наличие, тип, материал, локализация и конструктивные особенности могут быть сопоставлены с медицинской документацией. При этом эксперт не должен ограничиваться выводом о наличии имплантационной системы. Необходимо установить, какие признаки имеют индивидуализирующее значение, какие могли измениться под влиянием температуры, а какие являются производственными или конструктивными особенностями. Такой подход позволяет избежать ошибочного отнесения термических дефектов к прижизненным повреждениям или, наоборот, производственных особенностей – к последствиям пожара [11].

Существенное значение имеет материал имплантата. Титановые конструкции характеризуются высокой коррозионной стойкостью, биосовместимостью и способностью выдерживать значительные механические нагрузки. Имплантаты из диоксида циркония отличаются высокой жесткостью, эстетическими свойствами и меньшей теплопроводностью. Эти различия определяют разную реакцию на низкие и высокие температуры. Титан быстрее передает тепло окружающим тканям, но в большей степени сохраняет пластичность и конструктивную форму. Диоксид циркония хуже проводит тепло, однако его керамическая структура более чувствительна к резким температурным перепадам и внутренним напряжениям. При цифровом планировании дентальной имплантации учитываются анатомические условия, пространственное положение конструкции и особенности

окклюзионных соотношений, что в последующем может иметь значение для судебного сопоставления посмертных и прижизненных данных [12].

При пожарах и техногенных катастрофах экспертная ситуация осложняется тем, что стоматологические объекты часто извлекаются из сильно поврежденных, фрагментированных или частично обугленных останков. В таких условиях имплантат может сохраняться лучше, чем окружающая костная ткань, но терять связь с ней из-за термодеструкции. Это особенно важно при интерпретации случаев, когда имплантат выпадает из челюсти после пожара. Такой факт не должен автоматически трактоваться как признак некачественного лечения, воспалительного процесса или отсутствия остеоинтеграции при жизни. Разрушение костной ткани под действием высокой температуры само по себе может привести к утрате фиксации даже при ранее стабильной имплантационной системе. В условиях ограниченных ресурсов и неполной документации именно правильная интерпретация стоматологических признаков позволяет повысить результативность идентификации останков [13].

Зона контакта имплантата с костной тканью является одним из наиболее информативных участков. Прижизненная остеоинтеграция формирует прочную связь между поверхностью имплантата и костной структурой, однако высокие температуры способны вызывать коагуляцию белковых компонентов, дегидратацию, растрескивание, обугливание и разрушение костной основы. При этом состояние имплантата, абатмента, ортопедической конструкции и окружающей костной ткани может изменяться неодинаково. Экспериментальные данные о влиянии нагрузки и старения на прочность двухкомпонентных циркониевых имплантатов подтверждают, что сохранность имплантационной системы зависит не только от материала, но и от состояния соединения имплантата с абатментом, накопления микроповреждений и условий эксплуатации конструкции [14]. Поэтому при термическом повреждении необходимо оценивать не только сам имплантат, но и окружающую зону контакта, соединительные элементы и ортопедическую надстройку.

Для судебно-медицинской реконструкции важен характер тепловой нагрузки. Кратковременный термический удар, возникающий при взрыве или резком локальном возгорании, может вызывать повреждение поверхностных и тонкостенных элементов без глубокого равномерного прогрева всей конструкции. Длительный пожар в закрытом помещении, напротив, способствует постепенному нагреванию имплантата и окружающей кости, формированию более выраженных изменений поверхностного слоя и разрушению зоны фиксации. При локальном воздействии пламени повреждения могут быть асимметричными: одна сторона конструкции демонстрирует выраженное изменение цвета, микротрещины или деформацию, тогда как противоположная сохраняет исходные признаки. Для циркониевых ортопедических конструкций особенно значимы термические трещины, поскольку они могут

формироваться при производственном, температурном или термоциклическом воздействии и требуют фрактографического анализа, а не только визуального описания [15]. Такие различия могут иметь ориентирующее значение при описании неоднородности термического воздействия, однако без экспериментального моделирования, анализа условий пожара, положения тела, характера горючей среды, продолжительности нагрева и последующего охлаждения они не позволяют достоверно устанавливать положение головы относительно источника тепла, направление теплового потока или точную продолжительность воздействия.

Имплантаты из диоксида циркония и керамические ортопедические элементы требуют отдельной оценки. При резком нагревании и последующем охлаждении в них могут возникать микротрещины, ступенчатые дефекты, участки фрагментации и признаки внутреннего напряжения. Внешне такие изменения иногда напоминают механическую травму, однако их распределение, форма и связь с зонами температурного воздействия позволяют предположить термическое происхождение. Для цифровой судебной одонтологии особенно важно документировать такие признаки до любых манипуляций с объектом, поскольку керамические фрагменты могут дополнительно разрушаться при извлечении и транспортировке. Современные подходы к судебной одонтологии в цифровую эпоху расширяют возможности фиксации повреждений, сопоставления данных и реконструкции обстоятельств воздействия [16].

Макроскопическое исследование имплантата должно включать описание цвета, формы, целостности резьбы, состояния соединительной платформы, абатмента и коронковой части. Однако только внешнего осмотра недостаточно. При высокотемпературном воздействии часть изменений проявляется на уровне микрорельефа, структуры поверхности и зоны контакта с костью. Морфометрический подход позволяет более точно фиксировать форму стоматологических объектов, измерять параметры, сопоставлять их с прижизненными данными и отличать индивидуальные признаки от повреждений. Это особенно важно при исследовании имплантатов, у которых серийная маркировка утрачена, но сохранились форма, размеры, пространственное положение и особенности соединительных элементов [17].

Отдельного рассмотрения требует дифференциальная диагностика повреждений стоматологических имплантатов, поскольку сходные внешние дефекты могут иметь различное происхождение. Термические повреждения формируются под влиянием нагрева, обугливания окружающих тканей, резкого охлаждения, термоциклической нагрузки и разрушения костного ложа. Для них более характерны изменение цвета поверхности, перестройка оксидного слоя, локальное растрескивание, признаки внутреннего напряжения, хрупкость окружающей костной ткани и сочетание дефектов имплантата с термодеструкцией зубов, протезных элементов или костной ткани. Однако такие признаки не могут оцениваться

изолированно, поскольку визуально похожие изменения могут возникать при механической травме, производственных особенностях конструкции, повреждении при извлечении объекта или транспортировке останков.

Механические повреждения имплантатов следует отличать от термических по характеру распределения дефектов и связи с окружающими тканями. Для механического воздействия более типичны направленные деформации, следы удара, сколы с выраженной линией приложения силы, повреждения резьбы в зоне контакта с инструментом, фрагментация абатмента или коронковой части без обязательного соответствия зонам обугливания и температурной деструкции костной ткани. Транспортировочные повреждения, возникающие при извлечении, упаковке, перемещении или лабораторной обработке объекта, могут проявляться свежими сколами, дополнительными трещинами, нарушением краев хрупкой керамики, деформацией тонких элементов и утратой мелких фрагментов. Поэтому до любых манипуляций с имплантатом необходимы фотофиксация, рентгенологическая регистрация положения объекта и описание состояния костного фрагмента, чтобы последующие повреждения не были ошибочно приняты за первичные признаки пожара.

Производственные и конструктивные особенности имплантата также требуют разграничения с повреждениями. Резьбовой профиль, форма соединительной платформы, технологические следы обработки поверхности, микрорельеф, особенности покрытия, конструкция абатмента и ортопедической надстройки могут восприниматься как дефекты только при отсутствии данных о модели имплантационной системы. В связи с этим экспертная оценка должна включать сопоставление обнаруженного объекта с прижизненной стоматологической документацией, снимками, цифровыми моделями, данными производителя и сведениями о типе установленной конструкции. Посмертные повреждения, в отличие от прижизненных или возникших непосредственно при пожаре, могут быть связаны с разрушением костной ткани после термического воздействия, падением фрагментов, тушением водой, перемещением тела, разбором завалов, извлечением имплантата из костного ложа и последующим хранением. Следовательно, дифференциальная диагностика должна строиться не на одном признаке, а на совокупности данных: состоянии имплантата, абатмента, ортопедической конструкции, костной ткани, зубов, обстоятельствах обнаружения, результатах инструментального исследования и наличии прижизненной документации.

Важным результатом анализа является вывод о том, что стоматологические имплантаты сохраняют идентификационную ценность не только благодаря физической стойкости материала, но и благодаря возможности сопоставления с прижизненными стоматологическими данными. Если у пациента были сохранены цифровые записи, снимки, ортопантограммы, компьютерные томограммы, модели или сведения о системе

имплантации, обнаруженный после экстремального воздействия имплантат может быть использован для сравнительного исследования. При этом решающее значение имеет полнота стоматологической документации: сведения о производителе, размере, локализации, типе соединения, дате установки и особенностях ортопедической конструкции. Цифровая стоматологическая документация рассматривается как значимый вспомогательный инструмент судебной идентификации личности.

Виртуальные методы исследования позволяют минимизировать риск утраты доказательственной информации. До извлечения имплантата из костного фрагмента целесообразно выполнить фотофиксацию, рентгенологическое исследование или трехмерную регистрацию положения конструкции. Это особенно важно, если костная ткань хрупкая, обугленная или растрескавшаяся. При механическом извлечении могут возникнуть вторичные дефекты, которые затем сложно отличить от первичных термических повреждений. Использование виртуальной одонтоскопии и электронных методов идентификации позволяет сохранить пространственную информацию об объекте и повысить доказательственную ценность экспертного заключения.

При оценке механической устойчивости имплантатов необходимо учитывать напряженно-деформированное состояние конструкции. Наиболее уязвимыми являются зоны резбовых переходов, соединения имплантата с абатментом, тонкие участки ортопедической части и области контакта разных материалов. При нагревании элементы системы расширяются неодинаково, а при охлаждении сжимаются с разной скоростью. Это создает внутренние напряжения, которые могут приводить к ослаблению соединения, микротрещинам, деформации резьбы или частичному разрушению керамической надстройки. Численное исследование напряженно-деформированного состояния стоматологических конструкций подтверждает значимость анализа распределения нагрузок и напряжений при оценке их повреждаемости.

Практическое значение полученных результатов состоит в том, что имплантат должен рассматриваться не изолированно, а в системе «имплантат – абатмент – ортопедическая конструкция – костная ткань – следы термического воздействия». При таком подходе эксперт может оценить, какие изменения возникли вследствие высокой температуры, какие связаны с низкотемпературным воздействием, какие обусловлены механическим повреждением, а какие являются следствием посмертного разрушения тканей. В судебной практике по стоматологическим экспертизам особое значение имеет корректность причинно-следственной интерпретации, поскольку ошибочное объяснение повреждений может повлиять на выводы о механизме происшествия, качестве медицинской помощи или обстоятельствах гибели.

Сопоставление титановых имплантатов и имплантатов из диоксида циркония показывает, что титановые конструкции в большей степени сохраняют общую форму и могут оставаться пригодными для идентификации даже после выраженного температурного воздействия. Их слабым местом является поверхностный оксидный слой, резбовые элементы и участки соединения с абатментом. Имплантаты из диоксида циркония менее теплопроводны и могут медленнее передавать тепло окружающим тканям, однако они более чувствительны к резким перепадам температуры, термоциклическим воздействиям и хрупкому разрушению. Поэтому при оценке имплантатов из диоксида циркония особое внимание следует уделять микротрещинам, фрагментации, ступенчатым дефектам и признакам внутреннего напряжения.

При этом температуры ниже 0 °С допустимо рассматривать как единый судебно-медицинский фактор риска только в ограниченном аналитическом смысле: не как самостоятельный доказанный механизм разрушения имплантата, а как группу условий, при которых повышается вероятность изменения состояния системы «имплантат – абатмент – ортопедическая конструкция – костная ткань» за счет замораживания, оттаивания, различий теплового расширения материалов, повторного нагрева и резкого охлаждения после пожара. Такая трактовка требует обязательного сопоставления с данными о высокотемпературном воздействии на зубные ткани, ортопедические конструкции, имплантаты и костную ткань, поскольку повреждение имплантационной системы после пожара обычно формируется не одним фактором, а последовательностью нагрева, охлаждения, термоциклического напряжения, разрушения костного ложа и последующих механических воздействий при извлечении или транспортировке объекта. Поэтому температуры ниже 0 °С в настоящем обзоре рассматриваются как общий фактор риска для сохранности и интерпретации имплантатной системы, но не как валидированный диагностический критерий, позволяющий изолированно установить механизм повреждения без микроскопического, рентгенологического и материаловедческого исследования [18].

Гипотетическая экспертная матрица ориентировочной оценки
стоматологических имплантатов после температурного воздействия

Материал / объект оценки	Температурная ситуация	Возможные признаки	Ориентировочное экспертное значение	Ограничения интерпретации
Коммерчески чистый титан и титановые сплавы	200–600 °С	Сохранение общей формы имплантата, возможное изменение цвета поверхности, потемнение, частичное изменение	Имплантат может сохранять значение как идентификационный объект при сопоставлении формы, размера, резьбы и положения с	Внешняя сохранность не доказывает отсутствие микрповреждений; визуальный осмотр не может быть единственным

		внешнего вида резьбы; возможны начальные изменения оксидного слоя и локальные изменения микрорельефа поверхности	прижизненной стоматологической документацией	основанием экспертного вывода
Коммерчески чистый титан и титановые сплавы	600–900 °С	Возможны более выраженное изменение цвета, деформация тонких элементов, повреждение соединительной платформы или абатмента, частичная утрата исходного рельефа; возможны перестройка оксидного слоя, поверхностное растрескивание и изменение микрорельефа резьбы	Может иметь ориентировочное значение для оценки интенсивности теплового воздействия при наличии данных об обстоятельствах пожара и состоянии окружающей костной ткани	Повреждения могут быть усилены при извлечении имплантата из обугленной или хрупкой костной ткани; требуется инструментальная проверка
Коммерчески чистый титан и титановые сплавы	900–1000 °С и выше	Возможны деформация резьбовых элементов, хрупкость поверхностного слоя, вторичные повреждения при механическом извлечении; возможны выраженное изменение оксидного слоя, микротрещины и локальные зоны поверхностного разрушения	Может указывать на высокоинтенсивное огневое воздействие только при сопоставлении с состоянием костной ткани, зубов, ортопедических элементов и обстоятельствами обнаружения объекта	Сходные дефекты могут возникать при механическом повреждении после пожара; по одному имплантату нельзя достоверно установить механизм разрушения
Диоксид циркония	200–600 °С	Обычно возможно сохранение формы без выраженной пластической деформации; при резком нагревании или охлаждении возможны начальные микротрещины и признаки внутреннего напряжения	Может сохранять значение для идентификации при наличии прижизненных цифровых данных, рентгенологических снимков и описания конструкции	Внешне сохранный керамический имплантат может иметь скрытые микротрещины; требуется микроскопическое или иное инструментальное исследование
Диоксид циркония	600–900 °С	Возможны ступенчатые дефекты, сколы, локальная фрагментация при сочетании нагрева и	Может служить ориентировочным признаком термического или термоциклического воздействия при	Микротрещины и сколы требуют дифференциации с травматическими повреждениями, производственными

		охлаждения; возможны микротрещины, признаки внутреннего напряжения и локальное нарушение структуры керамики	отсутствии признаков прямой механической травмы	дефектами и повреждениями при транспортировке
Диоксид циркония	900–1000 °C и выше	Возможен повышенный риск хрупкого разрушения, фрагментации и утраты части конструктивных признаков; возможны распространение микротрещин, структурная неоднородность и признаки термоциклического повреждения	Может иметь значение для оценки сохранности идентификационных признаков после высокотемпературного воздействия	Без микроскопии, рентгенологического исследования и сопоставления с обстоятельствами обнаружения невозможно достоверно установить механизм разрушения
Имплантат – костная ткань	200–600 °C	Возможны потемнение, обугливание или частичное ослабление фиксации окружающей костной ткани; возможны дегидратация, коагуляционные изменения и начальные трещины костной ткани	Может использоваться для оценки сохранности зоны остеоинтеграции и вероятности посмертной утраты фиксации	Выпадение имплантата после пожара не доказывает отсутствие остеоинтеграции при жизни
Имплантат – костная ткань	600–1000 °C и выше	Возможны выраженная хрупкость, растрескивание, обугливание и разрушение костного ложа; возможны глубокая термодеструкция костной структуры, множественные трещины и нарушение контакта с поверхностью имплантата	Может помочь разграничивать прижизненную нестабильность имплантата и посмертную термическую утрату фиксации	Требуется сопоставление с медицинской документацией, рентгенологическими данными и обстоятельствами пожара
Титановые и циркониевые имплантаты при низкотемпературных факторах	Умеренное охлаждение, замораживание, резкое охлаждение водой после пожара, термоциклирование	Внешние признаки могут отсутствовать; возможна сохранность формы и положения; при резком изменении температуры	Может иметь значение при анализе замораживания, резкого охлаждения после тушения водой или повторяющейся смены температурного режима	Температуры ниже 0 °C не являются самостоятельным валидированным диагностическим критерием; необходимы

		возможны микродефекты в зоне контакта разных материалов, термоциклические микротрещины и внутренние напряжения		микроструктурные и инструментальные методы
--	--	---	--	--

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования

Представленная матрица имеет гипотетический ориентировочный характер и не является валидированной диагностической шкалой. Ее не следует применять как самостоятельный экспертный диагностический критерий до проведения экспериментальной валидации. Матрица может использоваться только как вспомогательный аналитический инструмент при комплексной судебно-медицинской оценке имплантата, абатмента, ортопедической конструкции, костной ткани, условий обнаружения объекта и данных прижизненной стоматологической документации. Окончательные экспертные критерии требуют экспериментальной проверки, стандартизированного моделирования температурного воздействия и оценки воспроизводимости признаков.

Настоящее исследование имеет ограничения, обусловленные его обзорным аналитическим характером. Работа не является систематическим обзором в строгом методологическом смысле, поскольку в ней не проводилась формализованная оценка риска систематической ошибки, количественный метаанализ, статистическое сопоставление результатов отдельных исследований и экспериментальная проверка воспроизводимости описанных признаков. Полученные обобщения основаны на сопоставлении опубликованных данных о судебной одонтологии, дентальной идентификации, стоматологических имплантатах, ортопедических материалах, костной ткани и температурном воздействии, однако не заменяют лабораторного моделирования пожара, замораживания, резкого охлаждения водой или термоциклической нагрузки.

Представленные выводы не позволяют формулировать окончательные судебно-медицинские критерии диагностики температурных повреждений стоматологических имплантатов. Они должны рассматриваться как предварительные аналитические положения, применимые только при комплексной оценке объекта с учетом обстоятельств обнаружения, данных рентгенологического и микроструктурного исследования, состояния костной ткани, сохранности ортопедической конструкции и наличия прижизненной стоматологической документации. Для разработки валидированных экспертных критериев необходимы стандартизированные экспериментальные исследования с контролируемыми температурными

режимами, различными типами имплантатов, абатментов, ортопедических материалов и моделями костной ткани.

Таким образом, результаты анализа подтверждают, что судебно-медицинская оценка стоматологических имплантатов после экстремального температурного воздействия должна быть комплексной. Необходимо учитывать материал имплантата, тип конструкции, состояние поверхности, сохранность резьбы, наличие абатмента и коронки, характер костной деструкции, условия обнаружения останков и наличие прижизненной стоматологической документации. Экспертная оценка качества стоматологической помощи и стоматологических конструкций в целом требует системного подхода, при котором учитываются клинические, морфологические, технические и документальные признаки. В контексте настоящего исследования такой подход позволяет использовать имплантаты как устойчивые диагностические и идентификационные объекты, повышающие точность реконструкции термического воздействия и надежность установления личности.

Заключение

В судебно-медицинской практике стоматологические имплантаты могут рассматриваться как дополнительные идентификационные объекты, сохраняющие значение при исследовании останков после экстремального температурного воздействия. Низкотемпературные факторы, включая умеренное охлаждение, замораживание, резкое охлаждение водой после пожара и термоциклирование, а также высокие температуры 600–900 °С и высокоинтенсивный нагрев 900–1000 °С и выше способны повреждать мягкие ткани, костную ткань и элементы имплантатной системы, однако в ряде случаев имплантат сохраняет форму, конструктивные признаки и маркировку. При сохранности таких признаков, наличии прижизненной стоматологической документации и возможности сопоставления с цифровыми, рентгенологическими или клиническими данными возможно вероятностное установление модели, производителя, даты изготовления или серийного номера имплантата. Такие сведения могут облегчать идентификацию личности, но не должны рассматриваться как самостоятельное и достаточное основание экспертного вывода.

Устойчивость стоматологических имплантатов к низким температурам ниже 0 °С, высоким температурам 600–900 °С и высокоинтенсивному нагреву 900–1000 °С и выше определяется сочетанием материаловедческих характеристик, конструктивных особенностей, состояния остеоинтеграции, сохранности окружающей костной ткани и условий обнаружения объекта. Поэтому экспертная оценка должна строиться не на одном изолированном признаке, а на совокупности данных: состоянии имплантата, абатмента, ортопедической конструкции, костной ткани, зубов, обстоятельствах пожара или иного температурного воздействия,

результатах инструментального исследования и наличии прижизненной стоматологической документации.

По одному стоматологическому имплантату невозможно достоверно установить механизм, длительность и направление термического воздействия. Выводы о характере нагрева, охлаждения, термоциклической нагрузки, тушения водой или посмертного повреждения допустимы только в вероятностной форме и только при сопоставлении с другими судебно-медицинскими, рентгенологическими, микроструктурными, материаловедческими и ситуационными данными. В связи с этим стоматологические имплантаты следует рассматривать не как самостоятельный абсолютный диагностический критерий, а как устойчивый вспомогательный объект, способный расширять доказательственную базу судебно-медицинской идентификации личности при комплексном экспертном исследовании.

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. № 66 (1). С. 5–8. URL: <https://www.mediasphera.ru/issues/sudebno-meditsinskaya-ekspertiza/2023/1/1003945212023011005> (дата обращения: 23.06.2026). DOI: 10.17116/sudmed2023660115.
2. Shivananda S., Doddawad V. G., Anand A., Patil K., Vidya C. S., Suresh J. Effects on heat-exposed teeth in relation to forensic identification – a pilot study // Egyptian Journal of Forensic Sciences. 2025. Vol. 15 (1). P. 1–5. URL: <https://doaj.org/article/dee2cab52f848fdb9df3df3b6542f1d> (дата обращения: 23.06.2026). DOI: 10.1186/s41935-025-00465-x.
3. Serrano-Esteban A. I., Requena-Gómez E., Mena-Alvarez J., Rodríguez C., Bufalá-Pérez M., Aragonese J. M. Cadaveric Identification through Macroscopic Analysis of Dental Implants Subjected to High Temperatures – An Experimental Model // Journal of Functional Biomaterials. 2023. Vol. 14 (2). P. 107. URL: <https://www.mdpi.com/2079-4983/14/2/107> (дата обращения: 23.06.2026). DOI: 10.3390/jfb14020107.
4. Верховский А. Е., Апресян С. В., Степанов А. Г. Обзор современных цифровых методов идентификации личности с использованием технологий искусственного интеллекта в судебной стоматологии // Стоматология. 2024. № 103 (6). С. 79–82. URL:

<https://www.mediasphera.ru/issues/stomatologiya/2024/6/1003917352024061079> (дата обращения: 23.06.2026). DOI: 10.17116/stomat202410306179.

5. Макаров И. Ю., Светлаков А. В., Сотин А. В., Шигеев С. В., Гусаров А. А., Смиренин С. А., Емелин В. В., Страгис В. Б., Фетисов В. А. Эффективность использования современных компьютерных технологий в клинической практике и перспективы дальнейшего применения биомеханических 3D-моделей в судебной медицине // Судебно-медицинская экспертиза. 2018. № 61 (2). С. 58–64. URL: <https://www.mediasphera.ru/issues/sudebno-meditsinskaya-ekspertiza/2018/2/1003945212018021058> (дата обращения: 23.06.2026). DOI: 10.17116/sudmed201861258-64.

6. Лаврукова О. С., Антипов В. М. Судебно-медицинская идентификация личности: череп как основной элемент опознания человека (случай из практики) // Судебная медицина. 2025. № 11 (1). С. 41–48. URL: <https://for-medex.ru/jour/article/download/16234/906> (дата обращения: 23.06.2026). DOI: 10.17816/fm16234.

7. Bonetti C. D., Taveira Bachur A. C., de Oliveira-Santos C., da Silva R. H., Pires-de-Souza F. D. Photographic, radiographic, and microscopic assessment of dental implants after simulated heating, burial, and immersion in water // Journal of Stomatology. 2020. Vol. 73 (3). P. 118–122. URL: <https://www.termedia.pl/Photographic-radiographic-and-microscopic-assessment-of-dental-implants-after-simulated-heating-burial-and-immersion-in-water,137,41162,0,1.html> (дата обращения: 23.06.2026). DOI: 10.5114/jos.2020.96875.

8. Berketa J., James H., Marino V. Dental implant changes following incineration // Forensic Science International. 2011. № 207 (13). С. 50–54. DOI: 10.1016/j.forsciint.2010.08.025.

9. Gremillard L., Mattlet A., Mathevon A., Fabrègue D., Zberg B., Stephan M. Hydrothermal ageing and its effect on fracture load of zirconia dental implants // Materials. 2021. № 14 (11). С. 3103. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/11/3103> (дата обращения: 23.06.2026). DOI: 10.3390/ma14113103.

10. Ненашева Е. А., Быкова М. В., Деев М. С., Быков Д. О. Изучение прочности на изгиб образцов многослойной стоматологической керамики на основе диоксида циркония отечественного и китайского производства после традиционного и скоростного спекания // Проблемы стоматологии. 2024. № 20 (2). С. 191–195. URL: <https://dental-press.ru/ru/nauka/article/82383/view> (дата обращения: 23.06.2026). DOI: 10.18481/2077-7566-2024-20-2-191-195.

11. Иванов А. С., Мартынов Д. В., Олесова В. Н., Заславский Р. С., Шматов К. В., Лернер А. Я., Морозов Д. И. Диоксид циркония как современный материал для зубных протезов и имплантатов // Российский стоматологический журнал. 2019. № 23 (1). С. 4–6. URL:

<https://rjdentistry.com/1728-2802/article/view/43009/29034> DOI: 10.18821/1728-2802-2019-23-1-4-6.

12. Федоров П. П., Яроцкая Е. Г. Диоксид циркония. Обзор // Конденсированные среды и межфазные границы. 2021. № 23 (2). С. 169–187. URL: <https://journals.vsu.ru/kcmf/article/download/3427/3412/> (дата обращения: 23.06.2026). DOI: 10.17308/kcmf.2021.23/3427.

13. Дубовиков К. М., Гарин А. С., Марченко Е. С., Байгонакова Г. А., Шишелова А. А., Ковалёва М. А. Влияние температуры отжига на структуру и свойства поверхности пористого TiNi // Неорганические материалы. 2021. № 57 (12). С. 1314–1321. URL: <https://sciencejournals.ru/view-article/?a=NeorgMat2112005Dubovikov&j=neorgmat&n=12&v=57&y=2021> (дата обращения: 23.06.2026). DOI: 10.31857/S0002337X21120058.

14. Kohal R. J., von Schierholz C., Nold J., Spies B. C., Adolfsson E., Vach K., Burkhardt F. Influence of loading and aging on the fracture strength of an injection-molded two-piece zirconia implant restored with a zirconia abutment // Clinical Oral Implants Research. 2023. Vol. 34 (2). P. 105–115. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/clr.14022>. DOI: 10.1111/clr.14022.

15. Ramos V., Oilo M. Thermal cracks of implant-based zirconia four-unit restorations: a fractographic analysis of two restorations fractured during production // Journal of Prosthetic Dentistry. 2018. № 120 (3). С. 327–330. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29627215/> (дата обращения: 23.06.2026). DOI: 10.1016/j.prosdent.2017.11.018.

16. Перельмутер М. Н. Концентрация напряжений в костных тканях и винтовых дентальных имплантатах // Российский журнал биомеханики. 2023. № 27 (2). С. 18–29. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontsentratsiya-napryazheniy-v-kostnyh-tkanyah-i-vintovyh-dentalnyh-implantatah> (дата обращения: 23.06.2026). DOI: 10.15593/RZhBiomech/2023.2.02.

17. Федорова Н. В. Исследование напряженно-деформированного состояния стоматологических имплантатов из керамики в зависимости от их формы и степени минерализации кости // Российский журнал биомеханики. 2019. № 23 (3). С. 451–459. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-napryazhyonno-deformirovannogo-sostoyaniya-stomatologicheskikh-implantatov-iz-keramiki-v-zavisimosti-ot-ih-formy-i-stepeni> (дата обращения: 23.06.2026). DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2019.3.10.

18. Krawiec K., Kurzawa A., Słowiński J. J., Fodor C. R., Pałka Ł. Experimental Biomechanical Analysis of the Bone-to-Implant Connection in Single-Piece Implants // Journal of Functional Biomaterials. 2025. № 16 (10). С. 393. URL: <https://www.mdpi.com/2079-4983/16/10/393> (дата обращения: 23.06.2026). DOI: 10.3390/jfb16100393.

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.