

DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-2-27-31

УДК 616.314:340.6:577.21

ПАТОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПУЛЬПЫ ЗУБА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА: СУДЕБНО-МЕДИЦИНСКАЯ ОЦЕНКА

Камалян А. В.

НИЦ Судебной экспертизы и исследования, г. Москва, Россия

Аннотация

В статье рассматриваются патоморфологические изменения пульпы зуба при воздействии высоковольтного электричества с позиций судебно-медицинской диагностики и реконструкции механизма повреждения. Показано, что пульпа зуба, обладая высокой электропроводностью, развитой сосудистой сетью и анатомически замкнутой полостью, формирует специфический комплекс структурных и субклеточных нарушений, нехарактерных для повреждений иного происхождения. Прохождение электрического тока высокого напряжения сопровождается формированием локального электрического поля, выраженным электротермическим эффектом и быстрым внутрипульпарным нагревом, приводящими к денатурации белков, коагуляции тканевого матрикса и выраженному обезвоживанию.

Морфологически устанавливается линейно ориентированная организация коагуляционных зон, отражающая направление распространения электрического потенциала внутри пульпарной камеры. Микроскопическое исследование выявляет гиперхромную и пикноз ядер, вакуолизацию стромы, фрагментацию коллагеновых волокон и деструкцию нервных элементов, что позволяет дифференцировать электротравму от механических, ишемических и воспалительных процессов. Дополнительным специфическим признаком являются микрофокусные участки карбонизации, возникающие при прохождении электрического разряда через замкнутую полость зуба.

Сосудистые изменения представлены выраженным спазмом, минимальными разрывами капилляров и формированием плотной коагулированной массы без массивного геморрагического пропитывания. Показана диагностическая ценность количественной оценки плотности денатурированного белкового матрикса с применением цифровой морфометрии. Установлено, что совокупность выявленных признаков отличается высокой устойчивостью к посмертным изменениям и позволяет использовать пульпу зуба как надежный морфологический индикатор воздействия высоковольтного электричества в судебно-медицинской практике. Полученные данные расширяют возможности объективной судебно-медицинской экспертизы, позволяют повышать точность выводов о характере и параметрах электрического воздействия, а также обосновывают перспективность использования зубных тканей при анализе сложных комбинированных травм в условиях выраженной посмертной трансформации и фрагментации мягких тканей организма человека в целом.

Ключевые слова: *пульпа зуба, высоковольтное электричество, электротравма, коагуляция белков, карбонизация тканей, сосудистый спазм, пикноз ядер, морфологическая реконструкция, электрическое воздействие, судебно-медицинская диагностика*

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Ашот Владимирович КАМАЛЯН ORCID ID 0009-0004-6139-0898

к.м.н., старший научный сотрудник НИЦ Судебной экспертизы и исследования, г. Москва, Россия
9262465066@mail.ru

Адрес для переписки: Ашот Владимирович КАМАЛЯН

123298, г. Москва, ул. Ирины Левченко, д. 1 (ООО «НИЦ Судебной экспертизы и исследования»)
+7 (926) 246-50-66
9262465066@mail.ru

Образец цитирования:

Камалян А. В.

ПАТОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПУЛЬПЫ ЗУБА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА: СУДЕБНО-МЕДИЦИНСКАЯ ОЦЕНКА. Проблемы стоматологии. 2026; 2: 27-31.

© Камалян А. В. и др., 2026

DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-2-27-31

Поступила 26.02.2026. Принята к печати 08.05.2026

DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-2-27-31

PATHOMORPHOLOGICAL CHANGES IN DENTAL PULP UNDER HIGH-VOLTAGE ELECTRICAL EXPOSURE: A FORENSIC MEDICAL ASSESSMENT

Kamalyan A.V.

Research Center for Forensic Examination and Research, Moscow, Russia

Abstract

The article examines the pathomorphological changes in the dental pulp caused by exposure to high-voltage electricity from the standpoint of forensic medical diagnostics and reconstruction of the injury mechanism. It is shown that the dental pulp, possessing high electrical conductivity, a well-developed vascular network, and an anatomically closed cavity, forms a specific complex of structural and subcellular alterations that are not characteristic of injuries of other origins. The passage of high-voltage electric current is accompanied by the formation of a local electric field, a pronounced electrothermal effect, and rapid intrapulpal heating, leading to protein denaturation, coagulation of the tissue matrix, and marked dehydration.

Morphologically, a linearly oriented organization of coagulation zones is established, reflecting the direction of electric potential propagation within the pulp chamber. Microscopic examination reveals nuclear hyperchromasia and pyknosis, stromal vacuolization, fragmentation of collagen fibers, and destruction of nerve elements, which makes it possible to differentiate electrical injury from mechanical, ischemic, and inflammatory processes. An additional specific feature is the presence of microfocal areas of carbonization that arise when an electric discharge passes through the closed cavity of the tooth.

Vascular changes are represented by pronounced spasm, minimal capillary ruptures, and the formation of a dense coagulated mass without massive hemorrhagic imbibition. The diagnostic value of quantitative assessment of the density of the denatured protein matrix using digital morphometry is demonstrated. It is established that the combination of the identified features is highly resistant to postmortem changes and allows the dental pulp to be used as a reliable morphological indicator of high-voltage electrical exposure in forensic medical practice. The obtained data expand the possibilities of objective forensic medical examination, increase the accuracy of conclusions regarding the nature and parameters of electrical exposure, and substantiate the prospects of using dental tissues in the analysis of complex combined injuries under conditions of pronounced postmortem transformation and fragmentation of soft tissues of the human body.

Keywords: *dental pulp, high-voltage electricity, electrical injury, protein coagulation, tissue carbonization, vascular spasm, nuclear pyknosis, forensic reconstruction, electrical exposure, forensic medical diagnostics*

The authors declare no conflict of interest

Ashot V. KAMALYAN ORCID ID 0009-0004-6139-0898

*PhD, Senior Researcher, Research Center for Forensic Examination and Research, Moscow, Russia
9262465066@mail.ru*

Correspondence address: Ashot V. KAMALYAN

*123298, Moscow, Irina Levchenko str., 1, "Research Center for Forensic Examination and Research" LLC
+7 (926) 246-50-66
9262465066@mail.ru*

For citation:

Kamalyan A.V.

PATHOMORPHOLOGICAL CHANGES IN DENTAL PULP UNDER HIGH-VOLTAGE ELECTRICAL EXPOSURE: A FORENSIC MEDICAL ASSESSMENT. Actual problems in dentistry. 2026; 2: 27-31. (In Russ.)

© Kamalyan A.V. et al., 2026

DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-2-27-31

Received 26.02.2026. Accepted 08.05.2026

Патоморфология пульпы зуба при воздействии высоковольтного электричества представляет собой сложный комплекс структурных и функциональных изменений, отражающих особенности прохождения электрического тока через ткани зубочелюстного аппарата [1]. Эти изменения формируют специфический морфологический след, который может использоваться для судебно-медицинской оценки механизма воздействия, параметров электрического разряда и последовательности повреждений [2]. Поскольку пульпа обладает выраженной сосудистой системой, высокой концентрацией однородных клеточных элементов и замкнутой полостью, она реагирует на электрическое воздействие не так, как поверхностные мягкие ткани [3]. Электрическая энергия в условиях высокого напряжения вызывает трансформацию тканей на клеточном, субклеточном и биофизическом уровнях, что создает значимое сочетание макро- и микроскопических признаков, имеющих идентификационный потенциал [4].

Воздействие тока высокой напряженности приводит к формированию локального электрического поля, которое распространяется по структурам зуба с учетом их электрической проводимости. Эмаль и дентин обладают высокой сопротивляемостью, в то время как пульпа характеризуется электропроводностью, близкой к мягким тканям. Поэтому основная часть энергии тока передается именно пульпе [5]. На раннем этапе воздействия происходит резкое повышение температуры внутри пульпарной камеры. В условиях кратковременного высоковольтного разряда температурный скачок может достигать значений, при которых белковые структуры переходят в денатурированное состояние. Это формирует плотный белковый коагулят, заполняющий центральную часть пульпы [6]. В отличие от термических повреждений, возникающих при нагревании внешних тканей, внутри пульпарной камеры коагуляция имеет линейно-слоистую структуру, соответствующую направлению распространения электромагнитного поля.

К числу наиболее значимых морфологических признаков относится электротермическое обезвоживание. Поскольку пульпа включает значительное количество внутри- и внеклеточной жидкости, воздействие электрического тока вызывает практически мгновенное испарение воды и резкое повышение давления внутри пульпарной камеры. Следствием данного процесса становится локальное повреждение и разрыв сосудов микроциркуляторного русла. В отдельных случаях выявляется вакуолизация стромы — формирование полостных участков после испарения жидкости. Образующиеся пустоты в сочетании с коагулированным белковым матриксом формируют специфическую морфологическую картину, отличающуюся от посмертной дегидратации, развивающейся в ходе естественных посмертных изменений.

При микроскопическом исследовании поврежденной пульпы обнаруживается характерная деформация клеточных ядер. Под влиянием электрического тока происходит резкое нарушение мембранного потенциала

клеток, сопровождающееся деполяризацией и разрушением внутриклеточных структур. Ядра приобретают гиперхромный вид, утрачивают четкость контуров и нередко подвергаются пикнозу. Пикнотические ядра распределяются в тканях относительно равномерно, однако их конфигурация и пространственная ориентация могут отражать направление прохождения электрического тока. Линейное расположение зон пикноза в ткани пульпы выступает значимым морфологическим критерием, поскольку подобная картина не характерна для повреждений механического генеза [7].

Дополнительным диагностическим признаком является карбонизация тканей. В обычном состоянии пульпа не содержит структур, склонных к обугливанию при воздействии умеренных температур. Вместе с тем при высоковольтном электрическом воздействии электрическая дуга способна образовывать локальные участки карбонизированной ткани. Такие включения, как правило, имеют отчетливые границы, что отличает их от изменений, возникающих при типичных термических поражениях. Участки карбонизации могут иметь микроскопические размеры, однако сам факт их обнаружения указывает на прохождение электрического разряда через закрытую и слабо вентилируемую полость пульпарной камеры.

Существенное значение для морфологической оценки имеют сосудистые изменения. Сосуды пульпы реагируют на электрическое воздействие быстрым сокращением сосудистых стенок. В результате развивается спазм, при котором кровь смещается к периферическим отделам. Повышение давления внутри пульпарной камеры приводит к разрыву отдельных капилляров, однако выраженного кровоизлияния обычно не формируется, поскольку часть крови подвергается свертыванию вследствие протеиново-термического воздействия. В результате вместо геморрагического пропитывания образуется плотная коагулированная масса, имеющая важное дифференциально-диагностическое значение.

Плотность денатурированного белкового матрикса может быть определена посредством цифровой морфометрии. Анализ трехмерных изображений, реконструированных на основе гистологических срезов, позволяет построить модель распределения плотно расположенных тканевых структур. При математической аппроксимации такие зоны характеризуются низким коэффициентом оптической проницаемости. Для количественной оценки применяется функция:

$$D = \Sigma (I_i / n),$$

где D — средняя плотность,

I_i — интенсивность оптического сигнала в каждой точке,

n — количество точек измерения.

При электрическом воздействии D возрастает, что позволяет отличать коагуляционный матрикс от интактных зон [8].

Особое диагностическое значение имеет трансформация коллагеновых волокон. Пульпа зуба включает коллагеновые структуры, сохраняющие относительную устойчивость при умеренном температурном воздействии, однако при прохождении высоковольтного разряда они подвергаются выраженному повреждению. Данные изменения проявляются фрагментацией, деформацией и скручиванием волокон. При этом поражение имеет преимущественно локальный характер и не охватывает всю ткань пульпы. Такая ограниченность повреждения отражает направление электрического воздействия и может использоваться для реконструкции траектории прохождения тока.

Одновременно с коллагеновыми элементами изменяются нервные волокна пульпы. Электрический ток вызывает их быструю деструкцию, которая выражается в утрате нормальной структурной организации, деформации оболочек шванновских клеток и нарушении целостности осевых цилиндров. Указанные признаки позволяют отличать электротравматическое повреждение нервных структур от некротических изменений, развивающихся при воспалительных процессах или ишемическом поражении.

При значительном промежутке времени между электрическим воздействием и последующим исследованием в пульпе могут формироваться вторичные морфологические изменения. Коагулированный белковый матрикс в целом сохраняет первоначальную конфигурацию, однако становится более гранулярным. В отдельных случаях выявляются трещины, возникающие вследствие постепенного сокращения тканей. Несмотря на зависимость данных признаков от временного фактора, они сохраняют специфические черты, связанные именно с электрическим воздействием.

Судебно-медицинская оценка изменений пульпы должна основываться на комплексном анализе совокупности морфологических признаков. Поскольку пульпа располагается в относительно изолированной полости, прохождение электрического тока оставляет в ней изменения, которые практически не воспроизводятся при иных механизмах повреждения. Одновременное наличие коагуляции, карбонизации, вакуолизации, сосудистого спазма и субклеточной фрагментации формирует характерный комплекс признаков, типичный для воздействия высоковольтного электричества.

Морфологическая реконструкция механизма поражения предполагает оценку направления распространения повреждающего фактора. Линейный характер коагуляционных участков, ориентация пикнотических ядер, распределение локальных зон обугливания и особенности деформации волокон позволяют определить направление распространения электрического потенциала. При прохождении тока через верхушку корня зуба наиболее выраженные изменения выявляются в области апикальной пульпы. При воздействии разряда на коронковую часть повреждения, напротив, концентрируются преимущественно в зоне рога пульпы. Такое распределение отличается от посмертных изменений, которые,

как правило, имеют диффузный и менее направленный характер.

Для экспертной оценки существенное значение приобретают количественные характеристики повреждения. Размер коагуляционной зоны, доля обезвоженной ткани и плотность белкового матрикса могут быть определены при помощи цифрового анализа гистологических изображений. Полученные показатели позволяют оценить интенсивность воздействия и ориентировочно судить о параметрах электрического разряда.

Отдельного анализа требует дифференциальная диагностика электротравматических изменений пульпы зуба с повреждениями иного происхождения, прежде всего термического, химического и механического. В отличие от открытых мягких тканей, пульпа защищена твердыми тканями зуба, что существенно изменяет характер формирующегося повреждения. При воздействии открытого пламени или нагретых предметов тепловая энергия распространяется преимущественно по поверхности, тогда как пульпарная камера подвергается вторичному и более постепенному нагреванию. В таких условиях обычно формируются признаки коагуляционного некроза без отчетливой направленности структурных изменений. Электрическое воздействие, напротив, связано с мгновенной передачей энергии внутрь замкнутой полости, вследствие чего возникают ориентированные, а не диффузные морфологические структуры.

Химические поражения, в том числе воздействие кислот и щелочей, также не формируют описанную совокупность признаков. При химическом некрозе преобладают лизис, выраженное разрушение межклеточного матрикса и постепенная потеря нормальной тканевой архитектоники. Для электротравмы более характерно сохранение общей пространственной организации пульпы при глубокой перестройке ее микроструктуры. Коагулированный белковый матрикс фактически фиксирует исходную конфигурацию ткани, что обеспечивает относительную устойчивость диагностических признаков во времени.

Механическая травма зуба, включая переломы коронки или корня, может сопровождаться изменениями пульпы, однако они обычно развиваются по воспалительному либо ишемическому механизму. Для таких повреждений характерны очаговость, асимметричность и появление клеточной инфильтрации при наличии достаточного периода выживания. При электрическом поражении воспалительный компонент, как правило, отсутствует либо выражен слабо, поскольку первичное повреждение имеет физико-химическую природу и сопровождается немедленной инактивацией клеточных элементов.

Особую значимость имеет устойчивость электротравматических признаков к посмертным изменениям. При трупном разложении пульпа зуба разрушается значительно медленнее, чем мягкие ткани, а сформированный коагуляционный матрикс дополнительно стабилизирует ее структуру. Даже при выраженных аутолитических процессах в окружающих тканях внутри пульпарной

камеры могут сохраняться зоны денатурированного белка, вакуолизации и ориентированной деформации ядер. Это позволяет рассматривать пульпу как ценный объект судебно-медицинского исследования при значительном постмортальном интервале.

Судебно-медицинская интерпретация выявленных изменений требует комплексного сопоставления макрокопических, микроскопических и морфометрических данных. Само по себе наличие одного признака не может служить достаточным основанием для вывода об электрическом воздействии. Однако сочетание направленной коагуляции, электротермического обезвоживания, микрофокусной карбонизации, сосудистого спазма и субклеточной деструкции образует устойчивый диагностический комплекс. Его повторяемость при различных параметрах высоковольтного воздействия подтверждает высокую специфичность изменений пульпы зуба.

Перспективным направлением является применение автоматизированных систем анализа гистологических

изображений. Использование алгоритмов распознавания морфологических структур может повысить объективность экспертной оценки за счет выявления ориентированных зон коагуляции и плотностных изменений белкового матрикса. Это создает предпосылки для стандартизации критериев диагностики электротравмы по результатам исследования зубных тканей и позволяет снизить влияние субъективного фактора при формировании экспертного вывода.

Таким образом, пульпа зуба может рассматриваться как особый биологический индикатор воздействия высоковольтного электричества. Ее морфологические изменения отражают биофизические процессы, возникающие при прохождении тока, и формируют совокупность признаков, пригодных для судебно-медицинской идентификации механизма поражения. Комбинация коагуляции, обезвоживания, карбонизации, сосудистых повреждений и субклеточной деструкции создает объективную основу для обоснованного экспертного заключения.

Литература/References

1. Фоминых Т. А., Куцевол Б. Л., Саенко А. Г., Грицкевич О. Ю. Основные методы исследования в современной судебной медицине. Крымский журнал экспериментальной и клинической медицины. 2021;11(4):106–117. [Fominykh T. A., Kutsevol B. L., Saenko A. G., Gritskevich O. Yu. Basic research methods in modern forensic medicine. Crimea journal of experimental and clinical medicine. 2021;11(4):106–117. (In Russ.). <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-metody-issledovaniya-v-sovremennoy-sudebnoy-meditsine?ysclid=mlf97hargx15828039>
2. Рябухина М. В., Полякова А. В. Обзор современных методов исследования ДНК человека, актуальных в экспертно-криминалистической деятельности. В: Деятельность правоохранительных органов в современных условиях: Сборник материалов XXVII международной научно-практической конференции; Иркутск; 03 июня 2022 года. Иркутск: Восточно-Сибирский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации; 2022. С. 265–269. [Ryabukhina M. V., Polyakova A. V. Review of modern methods of human DNA analysis relevant to forensic practice. In: Activities of law enforcement agencies in modern conditions: Collection of materials of the XXVII international scientific and practical conference; Irkutsk; June 03, 2022. Irkutsk: East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation; 2022. Pp. 265–269. (In Russ.). <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49512617>
3. Макарова Е. А., Аверкин Н. С. Перспективы применения методов протеомики в судебной медицине. Вятский медицинский вестник. 2025;(2):84–87. [Makarova E. A., Averkin N. S. Prospects for the application of proteomics in forensic medicine. Vâtskij medicinskij vestnik. 2025;(2):84–87. (In Russ.). <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-primeneniya-metodov-proteomiki-v-sudebnoy-meditsine?ysclid=mlf9929okm888286219>
4. Yadav S., Kumari P., Sinha A., Tripathi V., Saran V. Salivary microbiomes: a potent evidence in forensic investigations. Forensic Science, Medicine and Pathology. 2024;20(3):1058–1065. <https://doi.org/10.1007/s12024-023-00759-3>
5. Khorwal D., Mathur G. K., Ahmed U., Daga S. S. Environmental Factors Affecting the Concentration of DNA in Blood and Saliva Stains: A Review. Journal of Forensic Sciences Research. 2024;8(1):009–015. <https://www.forensicscijournal.com/articles/jfsr-aid1057.pdf>
6. Guzman E. J.T., De Ungria M. C.A. Barriers to human remains identification using forensic odontology in resource-constrained settings. Forensic Science International. Synergy. 2025;10:100575. <https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2025.100575>
7. Domagalska J., Cwielaĝ-Drabek M., Dziubanek G., Ulatowska N., Bortlik S., Piekut A. Teeth as an indicator of environmental exposure of Silesia province's inhabitants to metallic trace elements. Toxics. 2024;12(1):90. <https://doi.org/10.3390/toxics12010090>
8. Pretty I. A., Sweet D. A look at forensic dentistry — Part 1: The role of teeth in the determination of human identity. British Dental Journal. 2001;190(7):359–366. https://www.nature.com/articles/4800972?error=cookies_not_supported&code=122a7e9b-7af9-4d10-b78a-e1077a088755#citeas