DOI: https://doi.org/10.17816/dent678832 EDN: DKEKSC

Анализ методов дентальной биометрии в рамках стоматологической идентификации личности

А.Е. Верховский[1], С.В. Апресян[2], А.Г. Степанов[2]

[1] Смоленский государственный медицинский университет, Смоленск, Россия;
[2] Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Представлен обзор научных методов исследования морфологии твёрдых тканей зубов с целью повышения эффективности стоматологической идентификации личности. Известно, что исходной информацией при отождествлении личности человека или его останков зачастую являются сведения, полученные при осмотре трупа или при процедуре фрагментарного вскрытия. Вследствие этого важной экспертной задачей анализа является определение индивидуальных морфологических, анатомических, остеологических и иных признаков персонального соответствия человека. Для подтверждения тождества исследуются комплексы разнообразных антропометрических признаков, а также характерные особенности внешности человека. В связи с этим продолжаются попытки поиска инновационных средств и методов оптимизации следственной идентификации в рамках проводимых судебно-медицинских экспертиз. Так, дифференцируя и интегрируя сходные приёмы и способы исследования, специалисты пришли к выводу об исключительной уникальности и экстремальной устойчивости твёрдых тканей зубов человека. Следует отметить, что присвоение эксклюзивного личностно-идентификационного статуса зубному органу стало возможным благодаря развитию современных методов автоматизации и биометрии, а также широкому внедрению цифровизации в сфере здравоохранения. Изучая уникальную микроархитектонику эмали зубов, эксперты сделали вывод о чрезвычайно информативном и неповторимом характере её «морфологического пейзажа». В свою очередь факт сложности гистологического строения и видоспецифичности композиции эмалевого покрова зубов подтверждён рядом традиционных и компьютерных методов исследования. Данные сведения являются научным подтверждением возможности эффективного практического применения дентальной идентификации в криминалистических расследованиях.

Таким образом, комплекс инновационных тактико-технических приёмов в комбинации с фундаментальным междисциплинарным научным подходом способствовали формированию специализированного стоматологического раздела идентификационной криминалистики.

Ключевые слова: стоматологическая идентификация личности; амелоглифика; цифровая стоматология; отпечатки зубов.

Как цитировать:
Верховский А.Е., Апресян С.В., Степанов А.Г. Анализ методов дентальной биометрии в рамках стоматологической идентификации личности // Российский стоматологический журнал. 2025. Т. 29, № 4. С. 376–385. DOI: 10.17816/dent678832 EDN: DKEKSC

Рукопись получена: 23.04.2025 **Рукопись одобрена:** 20.05.2025 **Опубликована online:** 09.07.2025

ЭКО • ВЕКТОР

Статья доступна по лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International
© Эко-Вектор, 2025

DOI: https://doi.org/10.17816/dent678832 EDN: DKEKSC

Analysis of Dental Biometric Methods in Forensic Dental Identification

Andrey E. Verkhovskiy[1], Samvel V. Apresyan[2], Alexandr G. Stepanov[2]

[1] Smolensk State Medical University, Smolensk, Russia;
[2] Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

ABSTRACT

This review outlines scientific methods for examining the morphology of dental hard tissues to enhance the accuracy of forensic dental identification. It is well established that the initial data used in the identification of an individual or human remains are often obtained during postmortem examination or partial autopsy. Accordingly, an important forensic objective is to identify individual morphological, anatomical, osteological, and other traits that establish personal identity. To confirm identity, forensic experts analyze a range of anthropometric parameters and distinctive facial features. In this context, efforts continue to develop innovative tools and methods to optimize forensic identification within medicolegal examinations. Through the differentiation and integration of various investigative techniques, researchers have concluded that human dental hard tissues are exceptionally unique and exhibit remarkable structural resilience. The assignment of a uniquely identifying status to dental structures has become feasible because of advances in automation, biometrics, and extensive digitalization in healthcare. Investigations into the enamel microarchitecture have confirmed the remarkably informative and distinctive nature of its "morphological landscape". Moreover, the complexity of enamel histological structure and its species-specific composition have been validated using various traditional and computerized techniques. These findings scientifically support the practical application of dental identification in forensic investigations.

Thus, a combination of innovative technical strategies and fundamental interdisciplinary research has facilitated the emergence of a specialized forensic dentistry branch within forensic identification.

Keywords: forensic dental identification; ameloglyphics; digital dentistry; toothprints.

To cite this article:
Verkhovskiy AE, Apresyan SV, Stepanov AG. Analysis of Dental Biometric Methods in Forensic Dental Identification. *Russian Journal of Dentistry.* 2025;29(4):376–385. DOI: 10.17816/dent678832 EDN: DKEKSC

Submitted: 23.04.2025 **Accepted:** 20.05.2025 **Published online:** 09.07.2025

ECO•VECTOR

Article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License
© Eco-Vector, 2025

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день рост межгосударственной напряжённости по всему миру привёл к образованию открытого военного противостояния и появлению горячих точек в разных уголках земного шара. Многофакторность комбинированного воздействия применяемого оружия зачастую сопряжена с проблемами последующей идентификации личности военнослужащих и гражданского населения по причине частичного разрушения или полного уничтожения организма погибшего. Вследствие этого анализ существующей практики идентификационного отождествления выявил необходимость систематизации особых соматических примет по морфофункциональным, антропометрическим и иным характерным признакам внешности погибшего. Так, стратегическую задачу повышения эффективности поиска системно-структурных классификационных элементов идентификации успешно дополнили эксклюзивные знания в области стоматологической морфологии.

Специальная литература свидетельствует о неоднократных попытках изучения особенностей зубного профиля и морфологии зубов с целью детализации имеющихся теоретических стоматологических данных [1]. Сообщается также об экспериментах по изучению корреляции между высотой и медиально-дистальными размерами коронок передних зубов с учётом полового диморфизма для идентификации личности человека. Отдельные исследования дентальной морфометрии посвящены измерению расстояния от совокупности точек окклюзионной поверхности до эмалево-цементной границы в норме и при гипоплазии эмали [2]. Наиболее подробно методология одонтометрии разработана в антропологических исследованиях и в работах по этнической одонтологии. Известные ранее судебно-стоматологические исследования по идентификации личности посредством изучения дентальных рентгенограмм на ЭВМ в режиме цветовой денситометрической дешифровки также внесли определённый вклад в развитие отрасли [3]. Кроме того, большинство научных работ по идентификационной морфологии сопряжено с применением ограниченного числа одонтометрических методов исследования. В свою очередь выбор методов зависит от степени сложности поставленных задач и наличия соответствующих материально-технических средств для их практической реализации.

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод об актуальности вопроса модификации существующих методов отождествления личности, а также внедрения автоматизированных биометрических систем в практику судебной идентификационной стоматологии (наряду с ортодонтией, стоматологической радиологией и другими прогрессивными разделами специальности).

Целью настоящего обзора является анализ научных источников, посвящённых актуальным вопросам отождествления личности посредством использования специализированных данных в области дентальной морфологии и биометрии.

МЕТОДОЛОГИЯ ПОИСКА ИСТОЧНИКОВ

Проведены поиск и анализ актуальной литературы с использованием научных поисковых библиотечных баз данных: PubMed, PubMed Central, Scopus, eLIBRARY.RU, ResearchGate, Google Scholar. Основу настоящего литературного обзора составили 38 иностранных научных литературных источников.

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИДЕНТИФИКАЦИОННОЙ АМЕЛОГЛИФИКИ

В современной научной литературе приводятся сведения об использовании при судебно-медицинском опознании личности специальных паролей, фотографий, сканирования радужной оболочки глаза, отпечатков пальцев и данных анализа ДНК. Известна практика (в вооружённых силах и воинских формированиях) ведения пономерного учёта личного состава посредством обязательного ношения жетона военнослужащего, представляющего собой дюралевый знак с уникальным личным номером. Носимые на шее жетоны помимо идентификационного номера могут содержать иные личные данные: имя, фамилия, принадлежность к определённому подразделению, группа крови, вероисповедание. Дополнительные сведения чаще всего призваны предоставить исчерпывающую информацию о личности с целью облегчения процесса опознания убитых и раненых в боевых условиях. Однако многие исследователи констатируют безуспешность традиционных методов идентификации в случаях применения современных средств поражения личного состава и техники, а также в ситуациях глобальных техногенных аварий и массовых катастроф.

Довольно часто эксперты сталкиваются с крайне затруднительной ситуацией, когда доступным материалом для анализа являются лишь остатки кальцинированных тканей, таких как фрагменты костной ткани и отдельные зубы. С этой позиции зубы остаются единственно возможным вариантом идентификации, а с учётом уникальности отпечатка рельефа эмали их научно-практическая ценность возрастает многократно [4]. Так, S.K. Sha и соавт. изложили основные методы получения отпечатков микрорельефа эмали зубов, а также возможные варианты их использования для идентификации личности [5]. Ссылаясь на данные специальной литературы, авторы отмечают факт практического использования различных методов стоматологической идентификации личности, включающих

сравнительную оценку с прижизненными данными стоматологических карт, руго- и хейлоскопию, маркировку зубных протезов, анализ ДНК пульпы зуба, анализ следов укуса и другие доступные способы. В совокупности узкоспециализированные методы исследования микротекстуры зубной эмали оформились в самостоятельное направление стоматологической идентификации под названием «амелоглифика» (*amelo* — эмаль, *glypho* — резьба). Кроме того, для обозначения качественных характеристик поверхности эмали на страницах специальной литературы применяется общепринятый термин «отпечаток зуба» [6].

УНИКАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРОЕНИЯ ЭМАЛИ ЗУБОВ

Известно, что эмаль имеет законченный цикл развития, а любые изменения в её матрице следует расценивать как дефекты структурной организации. Причём морфология эмалевых призм отражает морфологию амелобластов видоспецифичным образом. Являясь эктодермальным продуктом деятельности амелобластов, эмаль представляет собой самое твёрдое вещество в организме человека [7]. Исследователи подчёркивают ряд гистологических особенностей эмали, формируемых вследствие изменений в направлении хода пучков эмалевых призм и обнаруживаемых на продольных шлифах зубов. Так, наблюдается чередование участков эмали, рассечённых продольно и поперечно, образующих так называемые паразоны и диазоны. При изучении продольных шлифов эмали в отражённом свете они определяются соответственно как светлые и тёмные полосы, перпендикулярные поверхности эмали, шириной около 100 мкм, что составляет около 10–13 эмалевых призм [8]. Необходимо отметить, что данные полосы напоминают линии отпечатков пальцев и в специальной литературе получили название полос Гунтера–Шрегера [9]. Одновременно с этим на шлифах зубов определяются ростовые линии эмали, связанные с периодичностью процессов её обызвествления и образования органической матрицы, так называемые линии Ретциуса. На продольных шлифах они имеют вид симметричных арок жёлто-коричневого цвета, идущих косо от поверхности эмали к дентиноэмалевой границе, на поперечных — концентрических кругов или колец. Характерной особенностью линий Ретциуса является их наибольшая выраженность на поверхности эмали постоянных зубов и в меньшей степени — на эмали временных зубов, образованной постнатально и пренатально. При любых нарушениях амелогенеза, в том числе связанных с общесоматической патологией, число линий Ретциуса обычно увеличено.

Основной структурно-функциональной единицей эмали являются эмалевые призмы, проходящие изогнутыми пучками через всю её толщу перпендикулярно дентиноэмалевой границе. В области шейки и центральной части коронки зуба возможно горизонтальное расположение призм, вблизи режущей кромки и краёв жевательных бугорков они идут в косом направлении, а приближаясь к режущему краю и к верхушке жевательного бугорка, располагаются практически вертикально.

Эмалевые призмы в поперечном сечении имеют овальную форму, напоминающую аркообразный свод с диаметром 3–5 мкм, увеличивающимся от дентиноэмалевого соединения к поверхности эмали. Структура призм представляет собой плотно уложенные кристаллы гидроксиапатита и прочих минералов с атомным содержанием кальция от 6 до 14. Строго упорядоченная укладка кристаллов в эмалевых призмах проходит параллельно их длинной оси с образованием в широкой части «головки», а также веерообразного расхождения в узкой части, именуемой «хвостом». Поперечная исчерченность призм обусловлена различной степенью минерализации эмали и характеризуется чередованием светлых и тёмных полос. Периферическая часть призмы образует её органическую оболочку, характеризующуюся менее плотным и разнонаправленным расположением кристаллов и повышенным содержанием белков.

Таким образом, группировка эмалевых призм происходит соответственно их пространственному направлению с образованием специфичной текстуры поверхности зуба в виде перикиматов. Вследствие этого данные особенности гистологического строения эмали находят своё клиническое отображение в формировании уникальных микрорисунков концевых участков эмалевых призм на поверхности зуба.

ОЦЕНКА МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОТПЕЧАТКОВ ПОВЕРХНОСТИ ЭМАЛИ ЗУБОВ

Многочисленные данные литературы свидетельствуют о разнообразии современных методов идентификации личности посредством анализа фотографий, паролей, отпечатков губ, зубных узоров и ДНК-профилирования. Среди них на первый план выходят биометрические методы верификации, такие как исследование отпечатков пальцев, сканирование радужной оболочки глаза и распознавание лиц. По мнению V. Christopher и соавт., особенную актуальность приобретают методы, сопряжённые с использованием зубов в качестве достоверной доказательной базы на основании статуса умершего [10].

Традиционным методом воспроизведения отпечатков поверхности эмалевых призм является использование бумаги из ацетата целлюлозы и различных оттискных материалов, преимущественно эластических. Исследователи отмечают практическую эффективность трёх основных этапов последовательного воспроизведения микропейзажа эмалевых призм в рамках амелоглифического анализа с целью идентификации личности, а именно: кислотного

травления, ацетатного пилинга и автоматизированной биометрии [11]. Характерной особенностью кислотного травления считается неравномерное растворение поверхностной эмали и части минерального компонента оболочек призмы. При этом глубина наступающего эффекта зависит от целого ряда факторов, среди которых выделяют вид и концентрацию используемой кислоты, время травления и смывания, химический состав и степень минерализации эмали. Наиболее часто используемой формой в исследованиях *in vivo* является гель 10% ортофосфорной кислоты. Приводятся сведения о наиболее типичных результатах травления в виде преимущественного растворения ядер или периферии призмы, а также нарушения структуры призм [12].

Метод пилинга представляет собой простой и быстрый способ создания копий протравленных кислотой поверхностей твёрдых тканей зубов, нанесённых на ацетатную плёнку. В своё время идея пилинга была заимствована в палеоботанике, где данная техника применялась для изучения текстуры и строения карбонатных пород и окаменелостей растений. Предложенные модификации пилинга были адаптированы для микроскопического анализа твёрдых тканей зуба в падающем и проходящем свете [13].

Приводятся сведения об использовании биометрической обработки фотомикрограмм отпечатков эмали с помощью программного обеспечения VeriFinger SDK (Neurotechnology, Литва) v. 5.0, v. 6.5. Сведения о появлении данного программного обеспечения для интеграторов биометрических систем относятся к 1998 году. Термин «биометрия» (биометрическое распознавание) (от др.-греч. βίος — жизнь и μετρέω — измеряю) обозначает автоматическое распознавание индивидов, основанное на их поведенческих и биологических характеристиках. С помощью биометрии происходит цифровая аутентификация людей по типичным физическим или поведенческим признакам (трёхмерная фотография лица и/или тела, образец голоса, отпечатки пальцев, рисунок вен руки, группа крови, специальное фото роговицы глаза и др.). При этом специалисты рассматривают практику применения биометрии с целью автоматического распознавания как частный случай биологической статистики с присущей ей высокой достоверностью и вероятностью положительной идентификации. Данные специальной литературы свидетельствует о том, что цифровой анализ биометрической информации является уникальным инструментом идентификации личности любого индивидуума и реализуется в различных условиях без применения специальной подготовки испытуемого и оператора [14].

В связи с этим особенно перспективными представляются разработка и совершенствование методик амелоглифики, набирающих популярность в научном сообществе в качестве эффективного инструмента идентификации личности. Следует отметить, что эксклюзивность рисунка микротекстуры эмали зуба может использоваться в качестве достоверного доказательства в рамках проводимого расследования в совокупности с другими методами идентификации. Высказываются предположения о целесообразности создания архивных баз стоматологических данных ряда социальных групп и профессий, подверженных повышенному риску для жизни и здоровья, а также командируемых в регионы с нестабильной политической ситуацией. Кроме того, речь идёт о необходимости регулярного обновления имеющейся информации с целью учёта износа твёрдых тканей зуба и актуализации клинических сведений [15]. Проводя сравнительную оценку дактилоскопии и амелоглифики, эксперты констатируют, что рисунок отпечатков пальцев является достаточно простым и состоит из немногочисленных, объединённых воедино элементов: завитков и дуг. В то же время отпечатки зубов имеют боле сложную комбинированную архитектонику, состоящую из целого спектра основных элементов аутентификации и их подшаблонов.

K. Manjunath и соавт. проводили оценку эффективности различных методов регистрации микрорельефа эмалевых призм с целью оптимизации процесса идентификации личности [16]. Сравнительному исследованию подверглись методы получения отпечатков поверхности эмали с помощью плёнки из ацетата целлюлозы, целлофановой ленты и эластических оттискных материалов.

Известны более ранние данные A. Füsun и соавт. о попытках использования метода ацетатного пилинга для 3D-визуализации и анализа морфологических особенностей зубов в обход рутинных процессов мануального препарирования и подготовки образцов стоматологического материала [17].

K. Manjunath и соавт. использовали экспериментальные модификации метода работы с ацетатом целлюлозы с целью идентификации личности [18]. Ссылаясь на данные N. Gupta и соавт. [19], авторы подчёркивают не только эксклюзивность микрорельефа эмалевых призм у разных индивидуумов, но также кардинальное отличие отпечатков эмали зубов у одного и того же человека. Кроме того, рассуждая о возможностях дентальной идентификации личности, исследователи констатируют факт устойчивости современных реставрационных стоматологических материалов к процессам посмертного разрушения по сравнению с тканями и органами человека.

Метод целлофановой ленты заключался в накладывании на предварительно протравленный участок эмали фрагмента целлофановой ленты, адаптируемого к поверхности путём произвольного давления на неё хлопчатобумажной ткани сверху. Далее целлофановая лента помещалась на предметное стекло для изучения под световым микроскопом и получения микрофотографий отпечатков. Для проведения эксперимента использовали микроскоп с 40-кратным увеличением и цифровую камеру с 1,4-кратным увеличением. В свою очередь метод снятия оттиска подразумевает использование эластического оттискного материала с корригирующим слоем

низкой вязкости для точной детализации микроструктур поверхности эмали. После застывания оттискной массы изучали полученный отпечаток на предметном стекле с помощью стереомикроскопа. В отличие от альтернативных методов с использованием светового микроскопа, применение стереомикроскопа в данном случае обусловлено отсутствием полупрозрачности у оттискного материала. Подготовка микрофотографии для всех методов исследования заключалась в её обрезке по центру с помощью программы редактирования Picture Manager (Microsoft, США) до получения необходимого разрешения в 2000×1500 пикселей [18]. Микрофотографии отпечатков эмалевых призм изучали с помощью специализированной программы VeriFinger SDK v. 5.0. L.L. Ramenzoni и соавт. одними из первых предприняли попытки использования программы для автоматизированного биометрического исследования полос Гюнтера–Шрегера на поверхности эмали с целью идентификации личности [20]. Несколько позднее ряд других экспертов также подтвердили эффективность программы VeriFinger SDK v. 5.0 в качестве надёжного биометрического инструмента анализа микрорельефа эмалевых призм. Особенность работы программы состоит в аутентификации узоров хвостовых частей эмалевых призм на полученных отпечатках в виде разнонаправленных групп линий. Полученная информация автоматически сохраняется в электронной базе данных системы в виде особых мелких точек (minutiae) с присвоением уникального идентификационного номера для возможности осуществления последующей верификации. Совокупности виртуальных точек определяют соответствующие им морфологические микрообъекты на поверхности эмали и могут визуализироваться в виде отдельных точек, углублений, небольших линий, пустых промежутков между линиями, а также их разветвлений и разделений пополам.

Результаты проведённых экспериментов [20] выявили возможность точной идентификации конкретного зуба с совпадением преимущественного числа анализируемых параметров при использовании плёнки из ацетата целлюлозы. Следует отметить факт строгого соответствия исследуемых поверхностей зуба с анализируемыми отпечатками эмали, отсутствие пустот, обрывков и смазанностей рельефа. При повторном сопоставлении информации, полученной при исследовании идентичных поверхностей, программа VeriFinger SDK v. 5.0 выявила совпадение сравниваемых параметров с первоначальными идентификационными номерами из сохранённой базы данных. С этой позиции становится очевидным отсутствие разницы в результатах координатной аутентификации расположения совокупностей мелких точек, определяющих пространственное соответствие объектов исследования.

В то же время специалисты подчёркивают, что в ситуации применения целлофановой ленты и эластичного оттискного материала установлены некачественные изображения текстуры эмалевых призм, и это стало причиной безуспешности проводимой идентификации исследуемых зубов [21]. Анализ выявил частичные пустоты и графическую фрагментацию полученных отпечатков, вплоть до смещения пробелов в смежные области при повторном исследовании тех же поверхностей. Вследствие этого определялись значительные вариации расположения пространственных точек и несовпадения их идентификационных номеров с исходными значениями. Иными словами, работа программы VeriFinger SDK v. 5.0 оказалась безуспешной из-за невозможности сопоставления рисунков эмалевых призм исследуемого зуба с его идентификационным номером, полученным при первоначальном исследовании. Однако при использовании оттискных материалов для реализации поставленных задач идентификации авторы отмечают необходимость экспериментального подбора оттискных материалов с оптимальной вязкостью и заданными физико-химическими параметрами [22]. Кроме того, в случае применения целлофановой ленты на одной из её сторон имеется тонкий слой адгезивного материала, обладающий повышенной вязкостью, что является дополнительным препятствием отображения микрорельефа эмалевых призм, тогда как ацетон выполняет роль растворителя и удаляет слой плёнки ацетата целлюлозы, вызывая направленное оседание частиц растворённого вещества вдоль неровностей на поверхности эмали и повышая точность полученного отпечатка.

По утверждениям специалистов, применение плёнки из ацетата целлюлозы является простым, точным, относительно быстрым и экономически целесообразным методом записи хвостовых частей эмалевых призм поверхности зуба. Однако вместе с этим отмечается и ряд ограничений в виде сложности регистрации полноценного «эмалевого пейзажа» призм в процессе осуществления этапа нанесения плёнки на неровности зубного микрорельефа [22].

Анализ результатов эксперимента [23] свидетельствовал о преимуществе метода получения отпечатков эмали с использованием ацетата целлюлозы из-за фиксации значительно большего количества мелких точек микрорельефа по сравнению с альтернативными методами. Вследствие этого информационная насыщенность и прецизионность изображений хвостовых частей эмалевых призм, получаемых с использованием ацетатной плёнки, позволяет рекомендовать данный метод для решения экспертных вопросов идентификации личности. Развивая высказанный тезис, специалисты указывают перспективный путь оптимизации данной концепции путём внедрения в практику идентификационного исследования технологии волоконно-оптического лазерного сканирования [23]. По их утверждениям, применение современных цифровых технологий и специального программного обеспечения расширит возможности одномоментного получения оттисков всего зубного ряда,

а также обеспечения интеллектуального компьютерного анализа микрорельефа поверхности эмали зуба. Эти практические решения в свою очередь позволят продолжить научно-исследовательскую работу по вопросам изучения семейных, популяционных и этнографических различий особенностей микрорельефа эмалевых призм.

Специалисты исследовали *in vitro* концевые участки эмалевых призм передней группы молочных зубов с помощью технологии автоматизированной биометрии с целью возможной идентификации. Авторы придерживаются точки зрения, что информация о микротекстуре эмалевых призм зубов может рассматриваться в качестве аналогии дактилоскопии, однако является более надёжной и достоверной [24]. Представлены немногочисленные данные по вопросу изучения отпечатков эмалевых призм, в то же время отмечается отсутствие каких-либо сведений об экспериментальных исследованиях молочных зубов.

Для фиксации отпечатков интактных передних молочных зубов применялся метод ацетатной плёнки с последующей биометрической обработкой фотомикрограмм [24]. Использовали программу VeriFinger SDK v. 6.5. Так, исследуемые зубы подвергались предварительному очищению в 10% растворе формалина с дальнейшим протравливанием средней трети вестибулярной поверхности 37% ортофосфорной кислотой в течение 20 с. После промывания и сушки на исследуемой поверхности распределялась одна капля ацетона с покрытием ацетатно-целлюлозной плёнкой в течение 20 мин. Далее происходило частичное растворение плёнки и оседание раствора на неровностях эмали, с последующим переносом плёнки на предметное стекло и анализом под световым микроскопом. Изготовленные микрофотографии подвергались биометрической обработке с целью распознавания, анализа и фиксации эмалевого микрорельефа в виде последовательности разнонаправленных линий. Примечательно, что анализ полученных результатов производился двумя независимыми экспертами параллельно.

Изучали микротекстуру концевых участков эмалевых призм в соответствии с данными ранее сформулированных классификаций. В процессе проведённого исследования выявлены и зафиксированы шесть основополагающих паттернов концевых участков эмалевых призм: волнистый разветвлённый (WB), линейный разветвлённый (LB), линейный неразветвлённый (LUB), спиральный (W), петлеобразный (L) и стержневидный (SL) [25]. Причём волнистый разветвлённый тип являлся единственным паттерном, преобладавшим во всех изученных образцах, а все виды разветвлённых вариантов определялись в качестве отдельных подпаттернов. Остальные виды паттернов не определялись по отдельности, а сочетались в комбинации с другими, чаще всего с разветвлёнными волнистым и линейным типами [25, 26].

Ведущие специалисты обращают внимание клиницистов на метод дактилоскопии, негласно принятый в качестве эталона идентификационного анализа по причине чрезвычайной простоты, точности и удобства практического применения. В этом случае использование биометрического программного обеспечения сопряжено с извлечением из полученных отпечатков набора важных параметров, так называемых миниатюр. Морфологически миниатюры представляют собой локальные разрывы и окончания кожных гребней, углубления, совокупность точек и разветвлений, обнаруживаемых в виде чётких и тёмных линий [27]. Данное сходство в значительной мере предопределило экспериментальное использование биометрических программ для дактилоскопии в качестве тестового варианта изучения отпечатков зубов в рамках идентификации личности. Эксперты подчёркивают наличие положительной корреляции между отпечатками кожи пальцев и эмалью зубов, что косвенно подтверждается единством их эктодермального происхождения [28].

M. Juneja и соавт. экспериментально подтвердили сведения о том, что информативность отпечатков зубов в рамках криминалистического анализа остаётся на достаточно высоком уровне даже после воздействия кислот и экстремальных температур [29]. Кроме того, сравнительное исследование воздействия чрезвычайно высоких температур в диапазоне до 1000 °C на зубы людей различных возрастных групп выявило факт большей устойчивости твёрдых тканей временных зубов по сравнению с постоянными [30]. В связи с этим сообщается также о специфике гистологического строения временных зубов по сравнению с постоянными, определяющей потенциальную возможность их использования в качестве подлинного информационного источника при идентификации личности детей [31]. В частности, указываются характерные признаки надлежащей устойчивости твёрдых тканей временных зубов, такие как разница коэффициентов теплового расширения, повышенная плотность эмалевых призм и их больший диаметр, особенно в области дентиноэмалевой границы [32, 33]. Отмечается уникальная морфологическая особенность временных зубов в виде взаимного параллельного расположения кристаллов гидроксиапатита, что обеспечивает равномерную толщину эмалевого слоя. Вследствие этого происходит равномерное тепловое расширение тканей при температурном воздействии и уменьшается потенциальная вероятность их деструкции. В то же время исследователи подчёркивают, что основным ограничением проведённой работы явилось отсутствие данных о половой и этнической принадлежности испытуемых, предоставивших материал для исследования [33]. В связи с этим отмечается необходимость продолжения экспериментов для поиска возможной взаимосвязи между вышеперечисленными факторами и качеством полученных отпечатков эмали зубов. Кроме того, обозначены приоритетные задачи по определению межгрупповых и внутригрупповых сходств концевых паттернов эмали в популяциях, а также по сравнению частоты их

встречаемости в группах временных и постоянных зубов. Общая пространственная ориентация эмалевых призм постоянных зубов является перпендикулярной поверхности дентина, причём в пришеечной области эмалевые призмы отклоняются в сторону корня или выходят наружу. В пришеечной и средней трети коронок молочных зубов эмалевые призмы направлены горизонтально с постепенным вертикальным отклонением в окклюзионной трети коронки [34].

Изучение морфологических особенностей эмалевых узоров позволило специалистам выделить ряд классов, отличающихся характером фактуры образуемых завитков. Среди них выделяют следующие классы и подклассы: разветвлённые и неразветвленные волнистые, разветвлённые и неразветвлённые линейные, открытый и закрытый завиток, петлевые и стеблевые [35].

Резюмируя, следует отметить приоритет использования стоматологических доказательств в качестве метода выбора при установлении личности, особенно в случаях сильного фрагментирования, разложения, обожжения и скелетонизирования останков [36]. Так, данные специальной литературы подтверждают факт широкого использования зубов в качестве достоверного инструмента судебной стоматологии, а амелоглифики — в качестве эффективного метода биометрического анализа [37, 38]. Особенно важное значение зубы приобретают в случаях дефицита или полного отсутствия альтернативного материала для исследований, а также иных возможностей проведения экспертного анализа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ведущие специалисты отмечают очевидную перспективность амелоглифики в качестве самостоятельного научного направления по разработке и решению вопросов идентификации личности. Вследствие этого приоритетными тенденциями формирования инновационной дисциплины являются разработка цифровых методов воспроизведения, редактирования и анализа точных отпечатков эмали, а также создание узкоспециализированного программного обеспечения с возможностью интеллектуальной обработки, хранения и оперативного использования полученной информации. Обсуждая актуальность проблемы, эксперты отмечают необходимость проведения дальнейших научных исследований по поиску практических возможностей интеграции базовых концепций дентальной идентификации на цифровые платформы нейросети и искусственного интеллекта. Такая формулировка перспективных задач амелоглифики является побудительным стимулом к продолжению развития фундаментальной методологической базы на стыке современной стоматологической науки, криминалистики и компьютерных технологий с целью оптимизации актуальных задач идентификации личности.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. А.Е. Верховский — сбор и анализ литературных источников, написание текста и редактирование статьи; С.В. Апресян — курирование и концептуализация исследования, анализ данных, подготовка, рецензирование и правка публикации; А.Г. Степанов — разработка методологии, проблематизация, категоризация, анализ данных, подготовка, рецензирование и правка публикации. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов (личных, профессиональных или финансовых), связанных с третьими лицами (коммерческими, некоммерческими, частными), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи, а также иных отношений, деятельности и интересов за последние три года, о которых необходимо сообщить.

Оригинальность. При создании настоящей обзорной работы авторы использовали ранее опубликованные сведения (текстовые данные, опубликованные на электронных носителях в сети Интернет). Ссылки на использованные данные представлены в списке литературы.

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей обзорной работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена в соответствии с процедурой fast-track. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: A.E. Verkhovskiy: resources, writing—original draft, writing—review & editing; S.V. Apresyan: supervision, conceptualization, formal analysis, writing—review & editing; A.G. Stepanov: methodology, conceptualization, data curation, formal analysis, writing—review & editing. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors declare no relationships, activities, or interests (personal, professional, or financial) with third parties (for-profit, not-for-profit, or private entities) whose interests may be affected by the content of this article. The authors also report no other relevant relationships, activities, or interests within the past three years.

Statement of originality: In preparing this review, the authors used previously published information (textual data available electronically on the Internet). References to all sources used are provided in the reference list.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, as no new data was collected or created.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the fast-track procedure. The peer review process involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Brenchley Z, Oliver RG. Morphology of anterior teeth associated with displaced canines. *Br J Orthod*. 1997;24(1):41–45. doi: 10.1093/ortho/24.1.41

2. Ensor BE, Irish JD. Hypoplastic area method for analyzing dental enamel hypoplasia. *Am J Phys Anthropol*. 1995;98(4):507–517. doi: 10.1002/ajpa.1330980410 EDN: HEQDVX

3. Kubilius M, Kubilius R, Varinauskas V, et al. Descriptive study of mandibular canal visibility: morphometric and densitometric analysis for digital panoramic radiographs. *Dentomaxillofac Radiol.* 2016;45(7):20160079. doi: 10.1259/dmfr.20160079

4. Sugunakar Raju GS, Madhusudam Rao T, Nandan SRK, et al. Ameloglyphics — Can it aid in forensic identification. *Indian J Dent Adv.* 2014;6:1669–1673. doi: 10.5866/2014.641669

5. Sha SK, Rao BV, Rao MS, et al. Are tooth prints a hard tissue equivalence of finger print in mass disaster: a rationalized review. *J Pharm Bioallied Sci*. 2017;9(Suppl. 1):S29–S33. doi: 10.4103/jpbs.JPBS_131_17

6. Manjunath K, Sivapathasundharam B, Saraswathi TR. Analysis of enamel rod end patterns on tooth surface for personal identification — ameloglyphics. *J Forensic Sci*. 2012;57(3):789–793. doi: 10.1111/j.1556-4029.2011.02050.x

7. Paine ML, Snead ML. Tooth developmental biology: disruptions to enamel-matrix assembly and its impact on biomineralization. *Orthod Craniofac Res*. 2005;8(4):239–251. doi: 10.1111/j.1601-6343.2005.00346.x

8. von Koenigswald W, Sander PM, editors. *Tooth enamel microstructure*. London: CRC Press; 1994. doi: 10.1201/9781003077930

9. Dioguardi M, Sanesi L, Sovereto D, et al. Possible uses of Hunter–Schreger bands of dental enamel for automated personal identification. Dioguardi et al. *Eur J Med Res.* 2024;29:99. doi: 10.1186/s40001-024-01698-7

10. Christopher V, Murthy S, Ashwinirani SR, et al. Can dead man tooth do tell tales? Tooth prints in forensic identification. *J Forensic Dent Sci.* 2017;9(1):47. doi: 10.4103/jfo.jfds_24_16

11. Thenmozhi JN, Naik VV, Angadi PV. Reliability of ameloglyphics in forensic identification: a systematic review. *Int J Legal Med.* 2025;139(3):1275–1286. doi: 10.1007/s00414-024-03401-1

12. Beniash E, Stifler CA, Sun CY, et al. The hidden structure of human enamel. *Nat Commun.* 2019;10(1):4383. doi: 10.1038/s41467-019-12185-7

13. Senthilkumar A, Ramadoss R, Ramalingam K, Arthanari A. In vitro analysis of enamel patterns across three species using stereomicroscopy. *Cureus.* 2024;16(5):e59488. doi: 10.7759/cureus.59488

14. Manjunath K, Sriram G, Saraswathi TR, et al. Reliability of automated biometrics in the analysis of enamel rod end patterns. *J Forensic Dent Sci.* 2009;1:32–36. doi: 10.4103/0974-2948.50887

15. Winkler DE, Schulz-Kornas E, Kaiser TM, et al. Dental microwear texture reflects dietary tendencies in extant Lepidosauria despite their limited use of oral food processing. Proc Biol Sci. 2019;286(1903):20190544. doi: 10.1098/rspb.2019.0544

16. Manjunath K, Sivapathasundharam B, Saraswathi T. Efficacy of various materials in recording enamel rod endings on tooth surface for personal identification. *J Forensic Dent Sci*. 2011;3(2):71–76. doi: 10.4103/0975-1475.92148

17. Füsun A, Füsun O, Sema B, Solen K. Acetate peel technique: a rapid way of preparing sequential surface replicas of dental hard tissues for microscopic examination. *Arch Oral Biol*. 2005;50(10):837–842. doi: 10.1016/j.archoralbio.2004.06.009

18. Manjunath K, Sriram G, Saraswathi TR. Enamel rod end patterns: a preliminary study using acetate peel technique and automatedbiometrics. *J Forensic Odontol.* 2008;1(1):33–36.

19. Gupta N, Jadhav K, Ahmed Mujib BR, Amberkar VS. Is re-creation of human identity possible using tooth prints? An experimental study to aid in identification. *Forensic Sci Int*. 2009;192(1-3):67–71. doi: 10.1016/j.forsciint.2009.07.017

20. Ramenzoni LL, Line SR. Automated biometrics-based personal identification of the Hunter–Schreger bands of dental enamel. *Proc Biol Sci*. 2006;273(1590):1155–1158. doi: 10.1098/rspb.2005.3409

21. Abdul NS. Ameloglyphics: A forensic tool for human identification. *J Pharm Bioallied Sci.* 2023;15(Suppl. 1):S18–S21. doi: 10.4103/jpbs.jpbs_535_22

22. Kaul B, Vaid V, Gupta S, Kaul S. Forensic odontological parameters as biometric tool: A review. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2021;14(3):416–419. doi: 10.5005/jp-journals-10005-1967

23. Singroha K, Banerjee A, Kamath VV, et al. Scanning electron microscope corroboration of ameloglyphics — A new tool in forensic odontology. *Int J Appl Basic Med Res.* 2020;10(2):76–80. doi: 10.4103/ijabmr.IJABMR_39_19

24. Suvarnan SK, Baghkomeh PN, Farzan JM. Identification and analysis of enamel rod end patterns in primary anterior teeth using automated biometrics: An in vitro study. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2024;17(2):149–152. doi: 10.5005/jp-journals-10005-2761 EDN: BZOLZJ

25. Naziya J, Sunil S, Jayanthi P, et al. Analysis of enamel rod end pattern for personal identification. *J Oral Maxillofac Pathol.* 2019;23(1):165. doi: 10.4103/jomfp.JOMFP_208_18

26. Sahoo PK, Priyadarshini SR. Ameloglyphics: a biometric analysis. *Indian Journal of Forensic Medicine and Toxicology.* 2020;14(4):8060–8062. In Press. doi: 10.37506/ijfmt.v14i4.12919 EDN: GELWPZ

27. Nikodémusz-Székely É, Székely V. Image recognition problems of fingerprint identification. *Microprocessors and Microsystems.* 1993;17(4):215–218. doi: 10.1016/0141-9331(93)90018-3

28. Keerthi NV, Kumar VV, Hemadala G, et al. Role of ectodermal derivatives as a personal identification tool — a forensic perspective. *Forensic Res Criminol Int J.* 2018;6(3):177–181. doi: 10.15406/frcij.2018.06.00204

29. Juneja M, Juneja S, Rakesh N, et al. Ameloglyphics: A possible forensic tool for person identification following high temperature and acid exposure. *J Forensic Dent Sci*. 2016;8(1):28–31. doi: 10.4103/0975-1475.176951

30. George R, Tan WJ, Shih Yi AL, Donald PM. The effects of temperature on extracted teeth of different age groups: A pilot study. *J Forensic Dent Sci*. 2017;9(3):165–174. doi: 10.4103/jfo.jfds_25_16

31. Fava M, Watanabe IS, Fava-De-Moraes F, et al. Prismless enamel inhuman non-erupted deciduous molar teeth: a scanning electronmicroscopic study. *Rev Odontol Univ São Paulo.* 1997;11(4):239–243. doi: 10.1590/S0103-06631997000400003

32. Wang LJ, Tang R, Bonstein T, et al. Enamel demineralization in primary and permanent teeth. *J Dent Res*. 2006;85(4):359–363. doi: 10.1177/154405910608500415

33. De Menezes Oliveira MA, Torres CP, Gomes-Silva JM, et al. Microstructure and mineral composition of dental enamel of permanent and deciduous teeth. Microsc Res Tech. 2010;73(5):572–577. doi: 10.1002/jemt.20796 EDN: OFKAWX

34. Dinkar D, Siddarth P, Shravya M, et al. Ameloglyphics — A mirror within you. *Austin J Forensic Sci Criminol*. 2018;5(1):1075.

35. Beena VT, Mohammed R, Paul S, et al. Ameloglyphics: The tooth signature. *J Oral Maxillofac Pathol.* 2018;9(2):70–75. doi: 10.5005/jp-journals-10037-1133

36. Ganeshani HR, Madhu PP, Mantri NJ, et al. Ameloglyphics — An advancement in forensic science. *Journal of Clinical and Diagnostic Research.* 2023;17(2):ZE05–ZE09. doi: 10.7860/JCDR/2023/60709.17449 EDN: EHOMOZ

37. Stefen C. Enamel structure of arctoid carnivora: Amphicyonidae, Ursidae, Procyonidae and Mustelidae. *Journal of Mammalogy.* 2001;82(2):450–462. doi: 10.1644/1545-1542(2001)082<0450:ESOACA>2.0.CO;2

38. Holland MM, Cave CA, Holland CA, Bille TW. Development of a quality, high throughput dna analysis procedure for skeletal samples to assist with the identification of victims from the World Trade Center attacks. *Croatian Medical Journal.* 2003;44(3):264–272. EDN: YJOIRT

ОБ АВТОРАХ

*** Верховский Андрей Евгеньевич,** канд. мед. наук, доцент;
адрес: Россия, 214012, Смоленск, ул. Кашена, д. 2;
ORCID: 0000-0002-1627-9099;
eLibrary SPIN: 7617-8166;
e-mail: a.verhovskii@mail.ru

Апресян Самвел Владиславович, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-3281-707X;
eLibrary SPIN: 6317-9002;
e-mail: apresyan@rudn.ru

Степанов Александр Геннадьевич, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-6543-0998;
eLibrary SPIN: 5848-6077;
e-mail: stepanovmd@list.ru

AUTHORS' INFO

*** Andrey E. Verkhovskiy,** MD, Cand. Sci (Medicine), Associate Professor;
address: 2 Kashena st, Smolensk, Russia, 214012;
ORCID: 0000-0002-1627-9099;
eLibrary SPIN: 7617-8166;
e-mail: a.verhovskii@mail.ru

Samvel V. Apresyan, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0002-3281-707X;
eLibrary SPIN: 6317-9002;
e-mail: apresyan@rudn.ru

Alexandr G. Stepanov, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0002-6543-0998;
eLibrary SPIN: 5848-6077;
e-mail: stepanovmd@list.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author