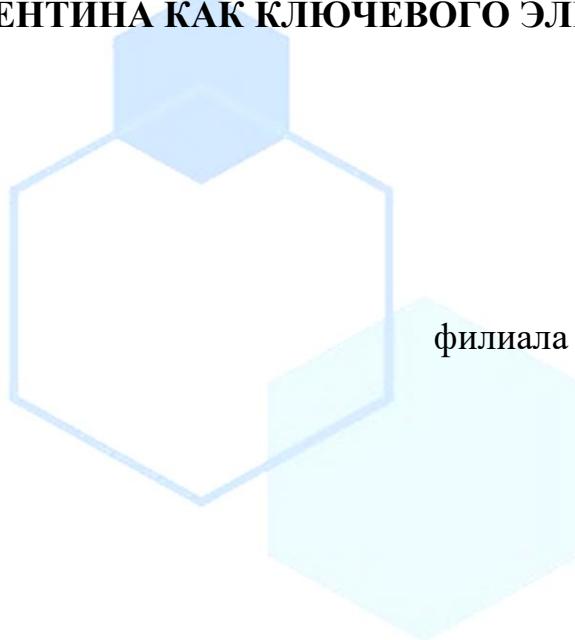


МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДЕНТИНА КАК КЛЮЧЕВОГО ЭЛЕМЕНТА УСТОЙЧИВОСТИ ЗУБА



Махмудов Анваржон Эркинжон угли

студент 1-курса медицинского

факультета Андижанского

филиала Кокандского университета, Узбекистан.

E-mail: qadirovavarjon854@gmail.com

Зайнуллин Ильфат Рамильевич

преподаватель кафедры

«Обучение языкам в медицине»

Андижанского филиала

Кокандского университета, Узбекистан.

E-mail: aerials2111@gmail.com

ORCID: 0009-0003-3144-5993

Аннотация. Дентин является основной тканью зуба, определяющей его механическую прочность, чувствительность и адаптивность. В статье детально проанализированы морфологические особенности дентина, включая его градиентную микроструктуру и уникальный химический состав, обеспечивающий баланс прочности и эластичности. Рассмотрена функциональная роль дентина как ключевого элемента устойчивости: от его биомеханической функции «демпфера», предотвращающего трещинообразование эмали, до участия в сенсорных и регенеративных механизмах (образование третичного дентина). Особое внимание уделено клиническому значению свойств дентина в реставрационной стоматологии (проблемы деградации адгезивного слоя) и эндодонтии (риски вертикальных переломов корня). Обсуждены современные дискуссионные вопросы, связанные с долговечностью адгезивных технологий и перспективами биоинженерной регенерации дентинно-пульпарного комплекса.

Ключевые слова: Дентин, морфология зуба, биомеханика, дентинные каналы, регенерация дентина, гидродинамическая теория, адгезивные технологии, устойчивость зуба.

Abstract. Dentin is the major tissue of the tooth, determining its mechanical strength, sensitivity, and adaptability. This article provides a detailed analysis of dentin's morphological features, including its gradient microstructure and unique chemical composition, which ensures a balance between strength and elasticity. The functional role of dentin as a key element of tooth stability is examined: from its biomechanical "damper" function, which prevents enamel fracture, to its involvement in sensory and regenerative mechanisms (tertiary dentin formation). Special attention is paid to the clinical significance of dentin properties in restorative dentistry (issues of adhesive layer degradation) and endodontics (risks of vertical root fracture). Modern controversial topics are discussed, including the long-term durability of adhesive technologies and the prospects for bioengineered regeneration of the dentin-pulp complex.

Keywords: Dentin, tooth morphology, biomechanics, dentinal tubules, dentin regeneration, hydrodynamic theory, adhesive technologies, tooth stability.

Введение

Анатомическое строение зуба представляет собой сложную систему твёрдых и мягких тканей, взаимодействующих для обеспечения жевательной функции, восприятия раздражителей и защиты пульпы. Дентин занимает центральное место в этой системе, составляя около 70% массы зуба и определяя его прочностные свойства. В отличие от эмали, дентин — это живая, адаптивная ткань, способная к регенерации и изменению структуры в ответ на внешние стимулы, что делает его подлинным ключевым элементом устойчивости всего зубочелюстного аппарата.

В последние годы наблюдается возрастающий научный интерес к биомеханическим характеристикам дентина, поскольку понимание его структуры и функциональности имеет важное значение для современной эндодонтии, реставрационной стоматологии и разработки биоинженерных материалов. Исследования показывают, что изменения микроструктуры дентина оказывают прямое влияние на развитие кариеса, скорость прогрессирования поражений и эффективность адгезивных технологий (Smith, 2020; Lee & Takahashi, 2021). Акцент смещается с пассивного изучения состава на динамическую оценку градиента свойств и его клинических последствий.

Цель данной статьи — проанализировать морфологические особенности дентина, определить их роль в функциональной устойчивости зуба и рассмотреть ключевые дискуссионные вопросы, влияющие на клиническую практику.

Материалы и Методы

Дентин относится к минерализованным тканям мезенхимального происхождения. Его плотность и структура обеспечивают тонкий баланс между прочностью и эластичностью, что позволяет зубу выдерживать значительные окклюзионные нагрузки. Химический состав дентина включает примерно 70% неорганических веществ (преимущественно гидроксиапатит), 20% органического матрикса (в основном коллаген I типа, ответственный за эластичность) и 10% воды. Такое сочетание делает дентин менее жёстким, чем эмаль, но более гибким и податливым, что критически важно для амортизации жевательной биомеханики.

Основным структурным элементом являются дентинные канальцы, радиально расходящиеся от пульпы к эмалево-дентинному соединению (ЭДС) или цементу. Их количество достигает **20–45 тыс. на 1мм²** (Pashley, 2008). Эти каналы несут отростки одонтобластов, а также окружены двумя типами минерализованной ткани: высокоминерализованным околоканальцевым дентином и менее минерализованным интертубулярным дентином. Важной особенностью является градиент проницаемости: чем ближе к пульпе, тем шире

и плотнее расположены каналы, что объясняет повышенную чувствительность и сложность лечения глубоких поражений.

Результаты

Механическая устойчивость. Дентин выполняет функцию «демпфера», являясь буферной зоной между твёрдой и хрупкой эмалью и мягкой пульпой. Современные исследования показывают, что дентин обладает уникальными механическими характеристиками: модуль упругости составляет **18–20 ГПа**, а прочность на сжатие — до **300 МПа**. Эти свойства предотвращают катастрофическое трещинообразование эмали при жевательных нагрузках (Нио et al., 2019). Ключевым механизмом является градиентная структура дентина: дентин в области ЭДС более твёрдый и минерализованный (мантийный дентин), тогда как оклопульпарный дентин — более эластичный. Этот градиент позволяет эффективно рассеивать напряжения и гасить микротрещины, не допуская их распространения к пульпе или до поверхности.

Передача чувствительности. Доминирующей является гидродинамическая теория (Bränström, 1966), согласно которой движение жидкости в дентинных каналах, вызванное температурными, тактильными или осмотическими раздражителями, стимулирует mechanoreцепторы нервных окончаний пульпы. Поэтому любое уменьшение толщины дентина (кариес, абразия, эрозия) увеличивает проницаемость и, как следствие, повышает чувствительность зуба.

Защитные и регенеративные механизмы. Дентин — это живая ткань, способная к адаптации и защите. В ответ на умеренные раздражители (например, медленно прогрессирующий кариес) одонтобласти способны образовывать реактивный дентин, уменьшая проницаемость и защищая пульпу. При более сильной травме или глубоком кариесе формируется репаративный дентин (иррегулярный вторичный дентин) — процесс, требующий дифференцировки новых клеток из стволовых клеток пульпы. Работы Goldberg (2011) подтверждают центральную роль одонтобластов в этих регенеративных процессах и их способность к ремоделированию органического матрикса.

Обсуждение

Адгезивные технологии и прочность реставраций. Успех современной реставрационной стоматологии напрямую зависит от качества гибридного слоя — зоны, где адгезивный материал проникает в деминерализованный коллагеновый матрикс дентина и полимеризуется. Неправильная обработка или чрезмерное высушивание дентина приводит к коллапсу коллагеновой сетки и снижению прочности реставрации (Van Meerbeek et al., 2013). Главный вызов адгезивной стоматологии — это долговечность гибридного слоя. Известно, что матричные металлопротеиназы (ММП), ферменты, находящиеся в дентине, могут вызывать деградацию коллагена с течением времени, что приводит к микроподтеканиям, вторичному кариесу и потере адгезии. Контроль активности ММП — одна из ключевых задач биоматериаловедения сегодня.

Прогноз в эндодонтии. Толщина остаточного дентина критически влияет на прогноз эндодонтического лечения. Исследования показывают, что при истончении стенок корня менее **1 мм** значительно возрастает риск вертикальных переломов корня, особенно при использовании агрессивных методов расширения и обтурации (Rosen, 2022). Кроме того, удаление пульпы и использование ирригантов (например, гипохлорита натрия) может изменять механические свойства дентина, снижая его модуль упругости и делая зуб более хрупким.

Дискуссионные вопросы регенерации. Несмотря на доказанную способность дентина к регенерации (формирование третичного дентина), клиническая реализация полной, функциональной регенерации дентина остаётся сложной задачей. Основные усилия биоинженерии сосредоточены на использовании сигнальных молекул (например, факторов роста) и биоактивных материалов, которые могут стимулировать одонтобластоподобную дифференцировку стволовых клеток пульпы *in situ*. Это направление открывает перспективы для лечения глубокого кариеса без необходимости полного удаления пульпы.

Заключение

Дентин — это не просто инертная прослойка, а ключевая, динамически регулируемая ткань, обеспечивающая механическую и биологическую устойчивость зуба. Его уникальная микроструктура, представленная градиентом минерализации и системой каналцев, способность к сенсорной передаче и активной регенерации, делает его центральным объектом стоматологической биологии.

Понимание особенностей дентина имеет решающее значение для клинической практики: от выбора методов реставрации, минимизирующих риск постоперационной чувствительности и деградации гибридного слоя, до оценки долгосрочного прогноза эндодонтически леченных зубов. Современные исследования в области биоинженерии и материаловедения открывают новые возможности для восстановления дентинных структур и разработки материалов, способных не только замещать, но и стимулировать естественную регенерацию дентина, повышая долговечность терапевтических вмешательств и сохраняя витальность зуба.

Список литературы

1. Brännström M. The hydrodynamic theory of dentinal pain: sensation in the dentinal tubules and dental pulp as a reaction to physiological stimuli. *J Endod.* 1966; 2(3): 83-87.
2. Goldberg M. Dentin structure and regeneration. *J Oral Biosci.* 2011; 53(3): 120-132.
3. Huo Y., et al. Mechanical properties of dentin in different regions: a comprehensive review. *Acta Biomaterialia.* 2019; 94: 1-15.
4. Lee S., Takahashi A. Advances in dentin biomaterials: from adhesives to regenerative strategies. *Biomaterials.* 2021; 269: 120539.
5. Pashley D.H. Dentin permeability and dentin sensitivity. *J Dent Res.* 2008; 87(2): 117-124.

6. Rosen E. Vertical root fracture risks in endodontically treated teeth: a review of current literature. *Endodontic Topics*. 2022; 41(1): 110-125.
7. Smith A. Structure–function relationship in dentin: the role of the collagen matrix. *Dental Materials*. 2020; 36(12): 1591-1605.
8. Van Meerbeek B., et al. Adhesion to dentin and enamel: state of the art and future challenges. *Operative Dentistry*. 2013; 38(1): 3-24.