

7. Beaumont, M. Amino Acids in Intestinal Physiology and Health./ M. Beaumont, F. Blachier // *Adv Exp Med Biol.* – 2020. – Vol.1265. – P. 1-20.
8. The protective role of short-chain fatty acids acting as signal molecules in chemotherapy- or radiation-induced intestinal inflammation. / T. Tian [et al] // *Am J Cancer Res.* – 2020. – Vol.10, N 11. – P. 3508-3531.
9. Impact of the Gut Microbiota on Intestinal Immunity Mediated by Tryptophan Metabolism. / J. Gao [et al] // *Front Cell Infect Microbiol.* – 2018. – Vol.6. – P. 8-13.
10. Wang, B. Gut Microbiota Regulation of AHR Signaling in Liver Disease. / B. Wang, Z. Zhou, L. Li // *Biomolecules.* – 2022. – Vol.12, N9. – P. 12-44.
11. Zhang, M. The relationship between intestinal goblet cells and the immune response. / M. Zhang, C. Wu // *Biosci Rep.* – 2020. – Vol.40, N10. – P. 14-71.
12. Correlation between intraluminal oxygen gradient and radial partitioning of intestinal microbiota. / L. Albenberg [et al]. // *Gastroenterology.* – 2014. – Vol.147, N5. – P. 1055-1063.
13. The effects of dietary sulfur amino acids on growth performance, intestinal morphology, enzyme activity, and nutrient transporters in weaning piglets. / E. Zong [et al] // *J. Anim. Sci.* – 2018. – Vol.96. – P. 1130–1139.
14. Gut microbiota functions: metabolism of nutrients and other food components. / I. Rowland [et al] // *Eur J Nutr.* – 2018. – Vol.57, N 1. – P. 1-24.
15. Implication of Intestinal Barrier Dysfunction in Gut Dysbiosis and Diseases. / C. Stolfi [et al] // *Biomedicines.* – 2022. – Vol.10, N 2. – P. 2-9.
16. Ethanol impairs intestinal barrier function in humans through mitogen activated protein kinase signaling: a combined in vivo and in vitro approach. / E. Elamin [et al] // *PLoS One.* – 2014. – Vol.9, N 9. – P. 7-21.
17. Promotion of Intestinal Epithelial Cell Turnover by Commensal Bacteria: Role of Short-Chain Fatty Acids. / J.H. Park [et al] // *PLoS One.* – 2016 – Vol.11, N 5. – P. 15-34.
18. The composition of the gut microbiota shapes the colon mucus barrier. / H.E. Jakobsson [et al] // *EMBO Rep.* – 2015 – Vol.16, N 2. – P. 164-177.
19. Suresh R. Pattern recognition receptors in innate immunity, host defense, and immunopathology. / R. Suresh, D.M. Mosser // *Adv Physiol Educ.* – 2013 – Vol.37, N 4. – P. 284-291.
20. Bacterial translocation and barrier dysfunction enhance colonic tumorigenesis. / Y. Zhang [et al] // *Neoplasia.* – 2023. – Vol.35.– P. 10-47.

ДЕМИНЕРАЛИЗАЦИЯ КАК НАЧАЛЬНЫЙ ЭТАП РАЗРУШЕНИЯ ЭМАЛИ ЗУБОВ

Амелина Э.Д., Полежаева А.С., Юзефович О.Н.

*УО «Белорусский государственный медицинский университет»,
г. Минск, Республика Беларусь*

К сожалению, большинство людей, которые обращаются за помощью к стоматологу по поводу самого распространённого заболевания зубов кариеса,

не отдают себе отчёт, что причиной этой проблемы чаще всего является деминерализация эмали зубов, которая широко распространена во всём мире среди различных слоёв населения. Процесс утраты эмалью минеральных веществ сопровождается и рядом других проблем, начиная от появления малозаметных пятен на поверхности зуба, заканчивая полным разрушением его структуры.

Был проведен анализ данных стоматологического статуса детей раннего и дошкольного возраста Брестской области. В частности, согласно результатам эпидемиологического обследования 2020 года в Брестской области у обследованных детей всего было выявлено 41,5% кариозных поражений зубов, а по возрастным группам была представлена следующая статистика: 1-2 года - 61,2%, 2-3 года - 73,4%, 3-4 года - 51,4%, 4-5 лет - 31,3% 5-6 лет - 21,3%. Также, исходя из предоставленных нам данных, мы сделали вывод, что значительная часть поражений приходилась на начальную стадию кариеса и протекала на фоне процесса деминерализации эмали зубов. Поэтому, изучая причины возникновения, механизм процесса и последствия деминерализации, мы сможем предотвратить развитие различных заболеваний полости рта.

Причины деминерализации

Зубная эмаль — твердое внешнее покрытие зубов, которое защищает их от кариеса, — состоит из нескольких различных минералов. В процессе жизнедеятельности различные минералы в структуре зубной эмали могут быть утрачены в результате деминерализации [1-4].

Причинами выступают: частое употребление кислых напитков (например, фосфорная кислота (пищевая добавка E338) является распространенным ингредиентом газированных напитков «Coca-Cola», «Pepsi», встречается в колбасных изделиях, плавленых сырах, смесях для выпечки), частое воздействие на зубы цитрусовых, содержащих лимонную кислоту (особенно лимонов), кислоты в желудке (например, при расстройствах пищевого поведения, булимии), воздействия бактерий (в основном *Streptococcus mutans*) и сахара на поверхность зубной эмали. Бактерии расщепляют ферментируемые углеводы (непосредственно глюкозу, сахарозу и фруктозу) и создают кислую среду (рН ниже 4,5), которая приводит к деминерализации и, как следствие, кариозным поражениям зубов. Также причиной может являться некачественная гигиена полости рта во время ортодонтического лечения. Помимо основных причин, выделяют ряд предрасполагающих факторов: воспаление дёсен, возрастные гормональные нарушения, запоздалое лечение стоматологических болезней, нарушение микрофлоры полости рта, а также недостаток фтора, фосфора, магния в пище и наличие вредных привычек.

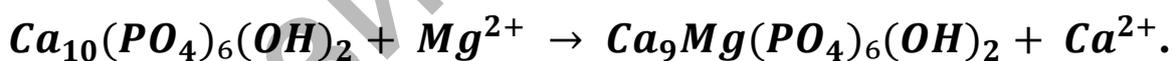
Химический состав эмали зуба

Принципиально важным для понятия сущности процесса деминерализации является представление о химическом составе эмали. Эмалью, что покрывает непосредственно коронку зуба, является самой твердой тканью в организме. В процессе эмбриогенеза эмаль развивается как ткань,

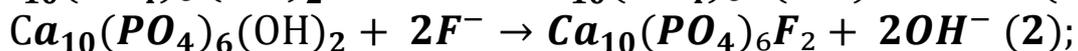
богатая белками, но к моменту прорезывания зуба в полости рта остаётся лишь небольшое их количество. Несмотря на то, что органическая матрица эмали составляет менее 2% по весу, она играет важную роль в улучшении как прочности, так и устойчивости её к химическим воздействиям.

Эмаль состоит из приблизительно 92-96% неорганических веществ, 1-2% органических веществ, 3-4% приходится на H_2O и микроэлементы. Меньшая по объёму органическая часть представляет собой белки (в частности амелогенины и аминокликаны), а также углеводы. Углеводами эмали в основном являются глюкоза, манноза и галактоза. Неорганические компоненты (96-97%), обеспечивающие высокую прочность данной ткани, представляют собой апатиты и неапатитные формы ($CaCO_3$, $MgCO_3$ и др., около 1,5%). К основным апатитам эмали относятся гидроксиапатит ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$, 75%), карбонатапатит ($Ca_{10}(PO_4)_6CO_3$, 19%), хлорапатит ($Ca_{10}(PO_4)_3Cl$; 4,4%) и фторапатит ($Ca_5(PO_4)_3F$; 0,66%). Апатит эмали имеет гексагональную элементарную ячейку, состоящую из призматических кристаллов, и содержит больше неорганического материала, чем дентин, кость и цемент. В состав ячейки гидроксиапатита входят 2 формульные единицы, выражающиеся формулой $(Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2)$. Твердость поверхностного слоя в первую очередь является результатом высокой концентрации ионов F^- , Cl^- , Ca^{2+} , PO_4^{3-} .

В структуре гидроксиапатита соотношение кальция и фосфора составляет $10/6=1,67$. Значение кальций - фосфорного коэффициента может колебаться в границах от 1,33 до 2,0 по нескольким причинам: 1) в теории соотношение содержания кальция к фосфору соответствует монокристаллу громадных размеров, а реальные кристаллы значительно меньше; 2) видоизменения апатита, что приводит к уменьшению коэффициента, например, при частичной замене Ca^{2+} на Mg^{2+} :



Таким образом, образовавшийся вследствие этой реакции апатит заключает в своей структуре 9 атомов кальция и 6 атомов фосфора. Замещение гидроксильной группы ионами фтора не изменяет исходного соотношения и приводит к возникновению кислотоустойчивых производных, а именно гидроксифторапатита (1) и фторапатита (2):



По данным различных исследований процентные соотношения компонентов эмали могут отличаться ещё и по причине смещения протекающего в системе эмаль-слюна гетерогенного равновесия под действием различных внешних факторов (изменение рН, колебание концентрации других

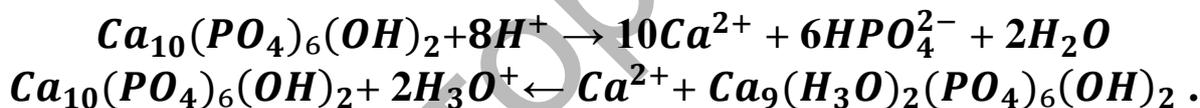
ионов, участвующих в этом равновесии; в зависимости от химического состава употребляемых продуктов питания и напитков):



Влияние деминерализации на структуру зуба

Деминерализация – это процесс, который приводит к потере минеральных компонентов твёрдых тканей зуба. Предпосылкой к доминированию процессов деминерализации и реминерализации являются растворение апатита под действием изменения рН среды или его кристаллизация.

Наиболее стабильная форма гидроксиапатита существует в ротовой полости в среде с рН 7,4. Установлено, что при понижении рН до 5,5 и ниже скорость деминерализации значительно увеличивается, а скорость реминерализации уменьшается. Основным источником кислот в полости рта являются микроорганизмы зубного налета. Благодаря ионообменным процессам ионы водорода (ионы гидроксония) до определенного предела могут впитываться эмалью без разрушения ее структуры. Деминерализация эмали в кислых средах *in vitro* идет с преимущественным выходом ионов Ca^{2+} по сравнению с ионами PO_4^{3-} , т.е. процесс растворения сопровождается избирательной декальцинацией эмали, поэтому предполагается параллельное протекание двух реакций:



Таким образом, эмаль выступает своего рода буферной системой по отношению к кислотам, которые действуют на ее поверхность. Вытесняя ионы Ca^{2+} , ионы $\text{H}^+(\text{H}_3\text{O}^+)$ связываются гидроксиапатитом. При этом структура гидроксиапатита сохраняется, однако снижается его способность противодействовать кислоте из-за сокращения количества Ca^{2+} . Падение Са/Р баланса ниже 1,30 указывает на разрушение кристаллической решетки гидроксиапатита, истощение запаса кальция и критическому снижению способности эмали противостоять растворению. Это позволяет сделать вывод, что величина Са/Р-коэффициента является показателем резистентности эмали к действию кислоты.

Вследствие кислотного метаболизма кариесогенных микроорганизмов в биопленке зубного налета происходит деминерализация эмали. При растворении минералов гидроксиапатита межкристалльное пространство расширяется, а поверхность эмали становится более мягкой и пористой, что приводит к образованию кариеса.

Наибольшая степень деминерализации при кариесе эмали происходит на подповерхностном уровне, который кажется относительно незатронутым. Это подповерхностное поражение обычно называют «поражением белых пятен»,

которое относится к непрозрачной белой области, которую можно отличить от здоровой эмали. Эта стадия кариозного поражения видна как белое пятно во время обычного стоматологического клинического осмотра и известна как начальный кариес.

В дальнейшем, деминерализация может привести к образованию среднего и глубокого кариеса. Средний кариес затрагивает эмаль и поверхностный слой дентина. При глубоком кариесе поражение твёрдых тканей зуба обширнее - патология затрагивает глубокие слои дентина.

Если запустить лечение, то последовательно образуется сначала пульпит (воспаление сосудисто-нервного пучка зуба), а затем и периодонтит (воспаление ткани между костной стенкой лунки и корнем зуба), что может привести к потере зуба.

Симптомы и методы диагностики деминерализации

Ключевыми симптомами деминерализации являются белые меловидные пятна различного размера, шероховатость, отсутствие естественного блеска, повышенная пористость эмали. Это приводит к тому, что зубная поверхность быстро желтеет и темнеет. Процесс сопровождается увеличением чувствительности в ответ на термические и химические раздражители [4-7].

Диагностируют деминерализацию следующими методами:

- Осмотр. Для того чтобы осуществить данный метод, врач обезвоживает поверхность зуба при помощи струи воздуха. Появление матовых пятен молочного цвета с неровной поверхностью свидетельствует о протекании процесса деминерализации.

- Зондирование. Здоровая эмаль должна быть гладкой и плотной. Поверхность поражённой эмали будет шероховатой. При деминерализации зондирование безболезненно, боль появляется лишь при среднем и глубоком кариесе и прочих некариозных патологиях (эрозии, травмы).

- Термометрия. Этим методом определяется реакция зуба на изменения температуры. Данная процедура может проводиться с помощью воды (холодной или тёплой) либо воздуха. При деминерализации поражение не распространяется на дентин, потому обычно температурные раздражители не вызывают сильной боли, однако при повышенной восприимчивости боль может быть резкой.

Существуют и дополнительные методы диагностики:

- Люминесцентный метод. Под действием ультрафиолетовых лучей здоровая эмаль даёт голубое свечение, а очаг деминерализации остаётся тёмным.

- Лазерная диагностика. Данный метод базируется на том, что здоровая и поражённая эмаль по-разному отражают световые лучи. При деминерализации устройство издаёт звуковой сигнал и на экране появляются значения, отличные от нормы. Высокие показания прибора свидетельствуют о существенной глубине поражения.

- Витальное окрашивание. На эмаль зуба наносится кариес-детектор — особый краситель, который соединяется с денатурированным коллагеном,

содержащимся в кариозном дентине и окрашивает участки деминерализации. При других патологиях тон эмали не меняется. Чем сильнее окрашивается пятно, тем интенсивнее ход деминерализации.

Методы восстановления эмали зубов

В силу того, что деминерализация эмали является патологическим процессом, лечение должно происходить незамедлительно, так как восстановление эмали без применения бормашины возможно только на ранних стадиях. При лечении пациент должен быть проинформирован о следующих факторах, влияющих на кариес: ограничение количества быстрых углеводов, содержащих сахар; соблюдение гигиены полости рта; сбалансированное питание; тщательный уход за ортодонтическими конструкциями (при их наличии). Только при сочетании соблюдения пациентом данных условий и качественной работы врача-стоматолога, становится возможным вылечить данное заболевание [8-11].

Чаще всего практикуются: реминерализация, глубокое фторирование, лечение по технологии Icon.

Реминерализация – это метод, при котором эмаль зуба насыщают минеральными компонентами. Реминерализирующий эффект гелей достигается повышенным содержанием в них фосфора и кальция, которые повышают твердость эмали. Перед самой процедурой необходимо провести профессиональную гигиену полости рта. Далее эмаль высушивают теплым воздухом, и на зубы наносится специальный гель, например, зубной гель «GC Tooth Mousse» (производитель – GC, Япония/США); активные вещества: 10% аморфный кальций фосфат, связанный с фосфопептидами казеина (CPP-ACP), а также ксилит (абразивность – RDA 0), без фтора, лаурилсульфата и парабенов). Гель наносится на 15–20 минут. Обычно курс составляет около 10–20 процедур. После каждой такой процедуры в течение двух часов запрещается принимать пищу, а также чистить зубы. Преимуществами реминерализирующей терапии является профилактика кариеса и устранение гиперчувствительности.

Глубокое фторирование – еще один метод лечения, при котором используется специальный раствор (например, препарат «Clinpro White Varnish», содержащий комбинацию защищенного трикальцийфосфата и 5% фторида натрия), который проникает глубоко в эмаль и повышает концентрацию ионов фтора. Таким образом, заполняются участки деминерализации и микротрещины, а эмаль становится плотнее. Особенностью данной процедуры является то, что происходит создание защитного барьера между бактериями полости рта и эмалью, который в дальнейшем предохраняет зуб от разрушений и сокращает риск формирования кариеса.

Широкое применение и популярность в Республике Беларусь в настоящее время приобретает технология Icon. Её преимущества: сам процесс безболезненный, лечение происходит без анестезии, останавливается развитие кариеса на продолжительное время, сохраняются здоровые ткани зуба, продлевается срок жизни зуба. Суть метода заключается в том, что поражённые участки заполняются специальным составом Icon-Infiltrant (полимерная

матрица на основе метакрилата ($CH_2=C(CH_3)COO-$), инициаторы: EFOX 10 S 30 — трет-бутилперокси-2 этилгексаноата 30% раствор), который благодаря капиллярному эффекту проникает в пораженную эмаль, делая её плотнее, а также уничтожает кариозные образования и препятствует размножению патогенных бактерий.

Заключение

Таким образом, были изучены химические основы процесса деминерализации, рассмотрены химический состав эмали и ее изменения при кариесе, а также причины, ключевые симптомы и методы лечения стоматологических заболеваний. Информация о причинах возникновения, своевременная диагностика и лечение деминерализации являются неотъемлемой частью предотвращения развития более серьёзных стоматологических заболеваний, таких как кариес, пульпит, периодонтит.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стоматология вчера, сегодня, завтра : сб. тр. юбилейной науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 60-летию стоматологического факультета / под общ. ред. Т. Н. Тереховой. – Минск, 2020. – 695 с.

2. Бутвиловский А. В., Барковский Е. В., Кармалькова И. С. Химические основы деминерализации и реминерализации эмали зубов // Вестник ВГМУ. - 2011. – №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/himicheskie-osnovy-demineralizatsii-i-reminalizatsii-emali-zubov>.

3. Биохимия твердых тканей полости рта в норме и при патологии. Учебное пособие предназначено для самостоятельной работы студентов по специальности «Стоматология» // ФГБОУ ВО РНИМУ им. Н.И.Пирогова Минздрава России. – М.: Издательство – 2019. – 71 С.: илл.8 рис.

4. Горлачева, Т.В. Деминерализация эмали зубов у пациентов, находящихся на ортодонтическом лечении с использованием несъёмной техники / Т.В. Горлачева, Т.Н. Терехова // Ортодонтия. Гнатология. – 2020. – №3. – С. 45 – 50

5. Деминерализация эмали зубов: причины, симптомы и лечение в статье стоматолога Панькина С. Ю. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://probolezny.ru/demineralizaciya-emali-zubov/>. – Дата обращения: 19.03.2023.

6. Деминерализация эмали. Причины и симптомы деминерализации эмали зубов профилактика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stomatology.fedorovmedcenter.ru/stati/terapiya/demineralizatsiya-emali/?ysclid=lea2vy3359830198673#osnovnye-simptomy>. – Дата обращения: 21.03.2023.

7. Tooth Enamel Demineralization – ToothIQ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.toothiq.com/dental-diagnosis/tooth-enamel-demineralization/>. – Дата обращения: 20.03.2023.

8. Demineralization–remineralization dynamics in teeth and bone [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5034904/>. – Дата обращения: 20.03.2023.

9. Demineralization & Remineralization of Teeth - Drubi Orthodontics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.drubiorthodontics.com/how-to-stop-demineralization-of-teeth/>. – Дата обращения: 17.03.2023.

10. Dental Caries – The Selection of Restoration Methods and Restorative Materials [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [Dental Caries - The Selection of Restoration Methods and Restorative Materials | IntechOpen](https://www.intechopen.com/entry/dental-caries-the-selection-of-restoration-methods-and-restorative-materials). – Дата обращения: 23.03.2023.

11. Keratins as components of the enamel organic matrix [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [Keratins as components of the enamel organic matrix - PMC \(nih.gov\)](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35812312/). – Дата обращения: 23.03.2023.

ХИМИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ПОЛОСТИ РТА. ЗУБНОЙ НАЛЕТ.

Балобан С.И., Майсюк И.С., Юзефович О.Н.

*УО «Белорусский государственный медицинский университет»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Большинство нежелательных образований в полости рта связывают с негативным влиянием зубного налета. Он состоит из продуктов жизнедеятельности бактерий, отмерших клеток слизистой оболочки рта, остатков пищи, лейкоцитов и белковых молекул из слюны. Минерализация зубного налета приводит к образованию зубного камня, а размножающиеся бактерии вызывают воспаление тканей и развитие кариеса. В дальнейшем эти процессы могут привести к заболеваниям других внутренних органов.

Результаты исследования глобального рейтинга болезней, опубликованные журналом Lancet в 2017 году, показали, что среди 330 заболеваний первое место занимает постоянный кариес. Это самая распространённая болезнь в мире, ей страдают 35% взрослого населения планеты (2,5 млрд человек). Современные статистические данные показывают, что молодое поколение, как правило, обращается за стоматологической помощью к специалисту только в случае возникновения острой зубной боли. Но нужно понимать, что зубной налет не исчезнет сам по себе. Вакцины, защищающей от него, не существует. Никакие новые технологии не заменят ежедневную гигиену зубов. Поэтому на данном этапе важной задачей является информирование населения. Наличие поверхностных образований во рту может вызывать психологический и социальный дискомфорт, так как, общепризнано, что неприятный запах изо рта возникает в результате бактериального метаболизма белковых субстратов, присутствующих в полости рта, что приводит к образованию пахучих соединений, таких как сероводород, метилмеркаптан и диметилсульфиды. Знания о химическом составе