

РЕМИНЕРАЛИЗАЦИЯ НАЧАЛЬНЫХ КАРИОЗНЫХ ПОРАЖЕНИЙ ЭМАЛИ ВРЕМЕННЫХ ЗУБОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФТОРИД-, КАЛЬЦИЙ- И ФОСФАТСОДЕРЖАЩИХ СРЕДСТВ

Антоненко Анна Николаевна, ассистент кафедры стоматологии детского возраста Белорусского государственного медицинского университета, Минск
 Шаковец Наталья Вячеславовна, доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой стоматологии детского возраста Белорусского государственного медицинского университета, Минск
 Шиманский Виталий Игоревич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики твердого тела Белорусского государственного университета, Минск

Anna Antonenko, Assistant of the Department of Pediatric Dentistry of the Belarusian State Medical University, Minsk
 Natalia Shakavets, MD, Professor, the Head of the Department of Pediatric Dentistry of the Belarusian State Medical University, Minsk
 Vitali Shimanski, PhD, Associate Professor of the Department of Solid State Physics of the Belarusian State University, Minsk
 Remineralization of the white spot lesions in primary teeth with the fluoride-, calcium- and phosphate-containing agents

Цель. Оценить реминерализующие свойства различных кариеспрофилактических средств при деминерализации эмали временных зубов в экспериментальных условиях.

Материалы и методы. Моделирование начальных кариозных поражений было проведено на 40 временных резцах без видимых кариозных поражений, удаленных по причине физиологической смены, путем аппликации на 3 минуты геля 37% ортофосфорной кислоты. Полученные образцы были случайно разделены на 4 группы по 10 зубов в каждой в зависимости от используемого реминерализующего агента: группа 1 (F-паста, 1100 ppm), группа 2 (MINERALIN), группа 3 (Ca/P/F-лак) и группа 4 (СИЦ). Микротвердость эмали образцов была измерена по методу Виккерса (0,1 Н – 10 с). Морфология поверхности эмали 10 образцов оценивалась при помощи сканирующей электронной микроскопии.

Результаты. По истечении 15 дней после нанесения реминерализующих агентов наибольшее увеличение микротвердости эмали наблюдалось в группе 4 (HV=55,8; p=0,005). Среднее значение микротвердости эмали в группе 3 увеличилось на 42,5 HV, что на 24% меньше, чем в группе 4 (p=0,01). Наименьшие изменения прочностных характеристик эмали были получены в группах 1 и 2 – 33 HV (175,5 HV, p=0,005) и 29 HV (166,5 HV, p=0,005) соответственно. Полученные данные коррелируют с результатами сканирующей электронной микроскопии.

Заключение. Реминерализующая способность кариеспрофилактических средств при начальных кариозных поражениях возрастала в ряду: гель с комплексом MINERALIN, зубная паста (F=1100 ppm), фторид-кальций-фосфорсодержащий лак, СИЦ.

Ключевые слова: кариес раннего возраста, деминерализация, микротвердость, реминерализация.

Современная стоматология. – 2022. – №2. – С. 51–56.

Objective. To estimate the remineralizing properties of various caries preventive agents at the enamel demineralization of the primary teeth.

Materials and methods. Modeling of the initial carious lesions was carried out on the 40 primary incisors without visible carious lesions, that were extracted due to exfoliation, by the application of the gel of 37% phosphoric acid to the enamel for 3 minutes. The obtained samples were randomly divided into 4 groups, containing 10 teeth in each group, depending on the remineralizing agent, that were used: group 1 (F-paste, 1100 ppm), group 2 (MINERALIN), group 3 (Ca/P/F-varnish) and group 4 (GIC). The microhardness was measured by the Vickers microhardness test. The enamel surface morphology of 10 samples was assessed by the scanning electron microscopy.

Results. After 15 days of the remineralization modeling, the greatest increase of the enamel microhardness of the samples was observed in group 4 (GIC) (HV=55,8; p=0,005). The average value of enamel microhardness in group 3 (Ca/P/Fvarnish) increased by 42.5 HV (p=0.005), which is 24% less than in group 4 (p=0.01). The smallest changes in the enamel microhardness were obtained in groups 1 (F-paste) and 2 (MINERALIN) – 33 HV (175.5 HV, p=0.005) and 29 HV (166.5 HV, p=0.005) respectively. The obtained data correlate with the results of scanning electron microscopy.

Conclusion. Remineralizing ability of caries preventive agents in case of initial carious lesions increased in the order: gel with the MINERALIN complex, toothpaste (F=1100ppm), fluoride-calcium-phosphorus-containing varnish, GIC.

Keywords: early childhood caries, demineralization, microhardness, remineralization.

Sovremennaya stomatologiya. – 2022. – N2. – P. 51–56.

Распространенность кариеса зубов у детей дошкольного возраста остается высокой и достигает в некоторых странах 85% [3].

Кариозный процесс у маленьких детей возникает в результате жизнедеятельности высоковирулентной микрофлоры в условиях нерационального вскармливания и характеризуется быстрым течением с поражением зубов преимущественно верхней челюсти. Первые проявления процесса – начальные кариозные поражения, локализующиеся на гладких поверхностях по неонатальной линии и на окклюзионных поверхностях моляров. Эти дефекты характеризуются образованием белых пятен или очагов декальцификации эмали зуба и связаны с длительным накоплением и ретенцией бактериального зубного налета. Меловидный цвет этих поражений – результат различных оптических искажений из-за потери минералов в поверхностных или подповерхностных слоях эмали. Приостановить прогрессирование и возникновение новых кариозных очагов можно путем использования различных профилактических и приостанавливающих развитие кариеса средств. Последнее отражает современную концепцию возникновения и развития кариеса зубов как результата дисбаланса между процессами деминерализации и реминерализации. Реминерализующие средства производятся в различных формах, таких как зубная паста, гели и лаки, силанты, реставрационные материалы [4, 5].

Наиболее часто в качестве реминерализующих агентов используют соединения кальция, фосфата и фторидов. Действие фторидсодержащих препаратов для местного применения опосредовано заменой гидроксид-ионов в гидроксиапатите на более мелкие сферические ионы фтора, что

усиливает связи внутри его решетки и снижает растворимость. Образование нерастворимого фторапатита и фторида кальция увеличивает устойчивость эмали к деминерализации [6, 7]. Наиболее доступным и часто используемым фторидсодержащим средством является зубная паста. Применение данной пасты у детей раннего возраста должно осуществляться в виде ежедневной двукратной чистки зубов с концентрацией фторида 1000 ppm и количеством, соответствующим возрасту.

Применение местных препаратов кальция и фосфатов в профилактике кариеса зубов основывается на создании перенасыщенности околозубной среды этими макроэлементами. Одним из представителей кальций-фосфатсодержащих соединений является MINERALIN, основу которого составляют глицерофосфат кальция, хлорид магния для повышения биодоступности последнего и ксилит.

Идея добавления кальция и фосфатов в фторидсодержащие препараты обусловлена обеспечением более быстрой и качественной реминерализации эмали зубов. Функционализированная форма трикальцийфосфата была разработана как средство, улучшающее эффективность фторида без снижения его биодоступности [8, 9].

Силанты и реставрационные материалы на основе стеклоиономерного цемента также обладают реминерализующими свойствами благодаря длительному последующему высво-

бождению фторида, что способствует редукации кариеса.

Цель исследования – оценить реминерализующие свойства различных кариеспрофилактических средств при деминерализации эмали временных зубов в экспериментальных условиях.

Материалы и методы

Для проведения эксперимента были отобраны 40 временных резцов, без видимых кариозных поражений, трещин и сколов, удаленных по причине физиологической смены. Зубы были тщательно промыты под дистиллированной водой и очищены щеточкой с пастой без фторида при помощи низкоскоростного наконечника, корни были удалены высокоскоростным алмазным диском под воздушно-водяным охлаждением. Затем каждый зуб был зафиксирован в самоотвердеющую пластмассу (Акродент, Украина) в виде блока со свободной вестибулярной поверхностью и случайным образом присвоен номер от 1 до 40. Для стандартизации открытой поверхности эмали на ней были сделаны окна 3x3 мм кислотоустойчивым лаком (рис. 1а).

Образцы высушивали и измеряли базовую микротвердость с помощью автоматического микротвердометра (402MVD Instron Wolpert Wilson Instruments, Великобритания) по методу Виккерса [2] на кафедре физики твердого тела Белорусского государственного университета. Используемый метод основан на вдавливании в испытуемый материал алмазного



Рис. 1. Подготовленные образцы (а), процесс создания участка деминерализации на эмали (б)

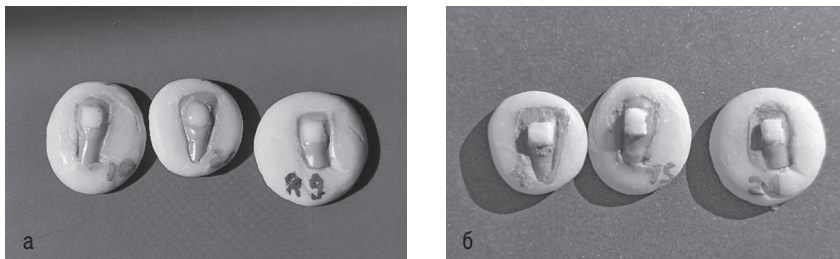


Рис. 2. Образцы с фторид-кальций-фосфатсодержащим лаком (а); образцы со стеклоиономерным цементом (б)

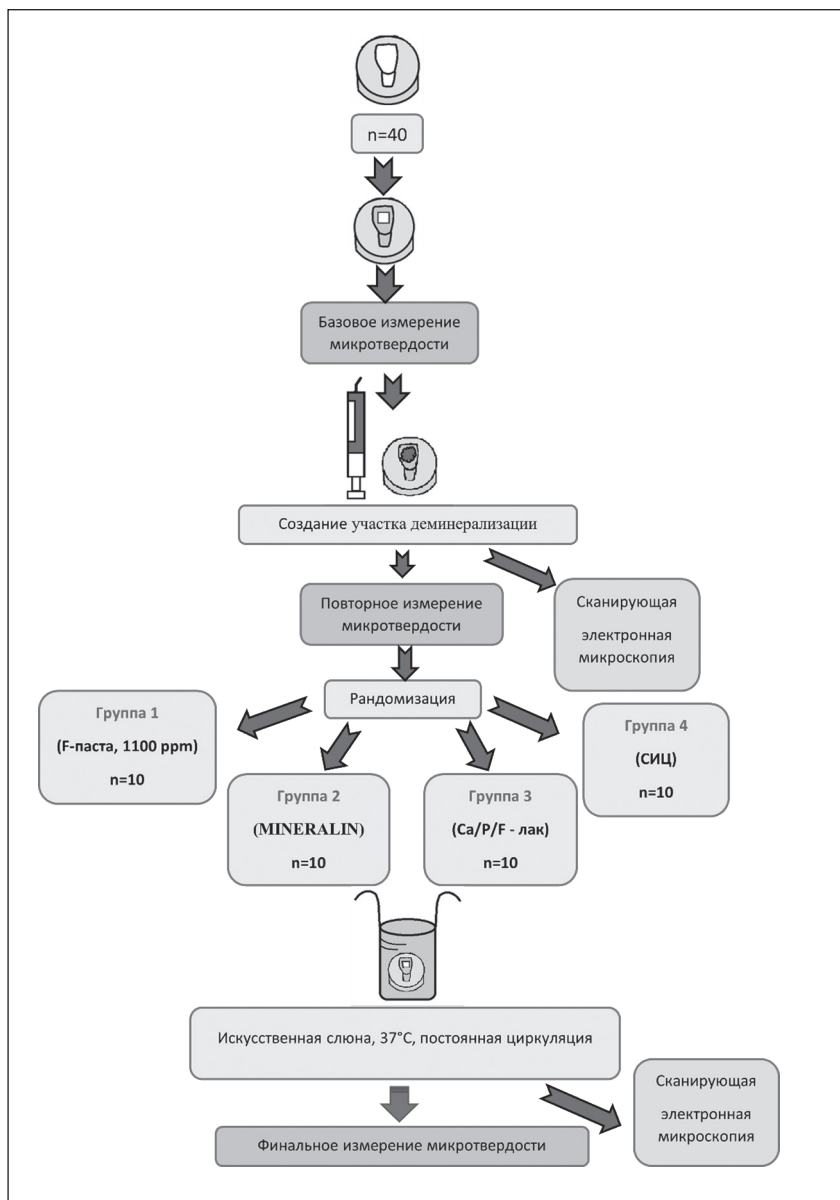


Рис. 3. Дизайн исследования

индентора в виде правильной четырехугольной пирамидки с углом при вершине 136°. Нагрузка, прикладываемая к индентору, составляла 10 г (0,1 Н)

и действовала в течение 10 секунд. Числа микротвердости выражали в единицах HV и рассчитывали как отношение приложенной к индентору

нагрузки к площади поверхности восстановленного отпечатка, измеренной по его изображению:

$$HV = \frac{P}{F_{\text{пов}}} = \frac{1,8544 \times p}{d^2}$$

где d – средняя длина диагоналей четырехугольного отпечатка в миллиметрах, p – нагрузка в килограмм-силах [1].

После измерения микротвердости на каждом зубе создавались участки деминерализации на тестируемой области путем обработки открытой поверхности эмали образцов гелем с 37% ортофосфорной кислотой (ВладМива, Россия) в течение 3 минут (рис. 16). После экспозиции последние ополаскивали воздушно-водяным спреем, высушивали 30 секунд и повторно измеряли микротвердость по вышеописанной методике. Предварительно пронумерованные экземпляры были случайным образом разделены на четыре группы по десять зубов в каждой в зависимости от используемого реминерализующего агента:

– **Группа 1 (F-паста)** – образцы чистили фторидсодержащей зубной пастой с концентрацией фторида 1100 ppm (Oral-B kids, Германия) 2 раза в день;

– **Группа 2 (гель)** – на образцы ежедневно наносили кальций-фосфатсодержащий гель (R.O.C.S. Medical Minerals для детей, Россия) согласно инструкции производителя;

– **Группа 3 (лак)** включала образцы, на которые был однократно нанесен фторид-кальций-фосфатсодержащий лак (3M Clinpro White Varnish, Германия) (рис. 2а);

– **Группа 4 (СИЦ)** – участок деминерализации был покрыт стеклоиономерным цементом (3M Ketac Universal, Германия) (рис. 2б).

В процессе эксперимента образцы зубов хранились в индивидуальных контейнерах, содержащих 10 мл искусственной слюны, которая менялась

Таблица Показатели микротвердости участков эмали временных зубов

Показатель	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4	Уровень значимости отличия, p
Микротвердость при базовом измерении, HV	197	202	220	218	0,45
Микротвердость после деминерализации, HV	143	137	167	176	0,11
Микротвердость после реминерализации, HV	176	167	2	232	0,002
Уровень значимости отличия, p	0,005	0,005	0,005	0,005	–

каждые 12 часов, в термостате (Витязь ТСВ80-01В, Республика Беларусь) при температуре 37 °С и постоянной циркуляции. Аппликация реминерализующих средств длилась 15 дней, после чего каждый образец был промыт дистиллированной водой в течение 20 секунд, высушен воздушным спреем, было проведено финальное измерение микротвердости по вышеописанной методике (рис. 3).

Для оценки морфологии поверхности эмали и пенетрации исследуемых материалов в эмаль было проведено исследование 10 случайно выбранных образцов (2 образца после деминерализации и по 2 из каждой группы на 15-й день реминерализации) при помощи сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на кафедре физики твердого тела Белорусского госу-

дарственного университета. Для этого образцы были распилены по центру в щечно-язычном направлении высокоскоростным алмазным диском под воздушно-водяным охлаждением. Изображения были получены при помощи сканирующего электронного микроскопа на аппарате LEO 1455 VP (Германия) в специализируемом вакуумном режиме для биологических объектов при увеличении x500 и x200.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием компьютерной программы STATISTICA 10.0. Критерий Колмогорова – Смирнова был использован для определения нормальности распределения данных (p=0,05). Однофакторный дисперсионный анализ (критерий Краскела – Уоллиса) применялся для определения статистически значимых

различий между группами (p<0,05). Критерий Вилкоксона использовали для анализа интенсивности исследуемого признака.

Результаты и обсуждение

При базовом измерении микротвердости участков эмали четырех групп зубов по методике Виккерса были получены следующие значения: 197 HV – в первой группе, 202 HV – во второй группе, 220 HV – в третьей группе и 218 HV – в четвертой группе. Различия между исследуемыми группами были статистически не значимы по результатам дисперсионного анализа (p=0,45) (таблица).

После деминерализации среднее значение микротвердости тестируемых участков эмали зубов снизилось в каждой из исследуемых групп: у образцов группы 1 – на 28% и составила 143 HV; в группе 2 – на 32% (137 HV); в группе 3 – на 24% (167 HV) и в группе 4 значение микротвердости снизилось до 176 HV (на 20%). При этом среднее значение показателя микротвердости эмали исследуемых групп зубов также между собой значимо не различалось (p=0,11), что позволило охарактеризовать эти группы как одинаковые по исследуемому признаку и перейти к оценке реминерализации эмали.

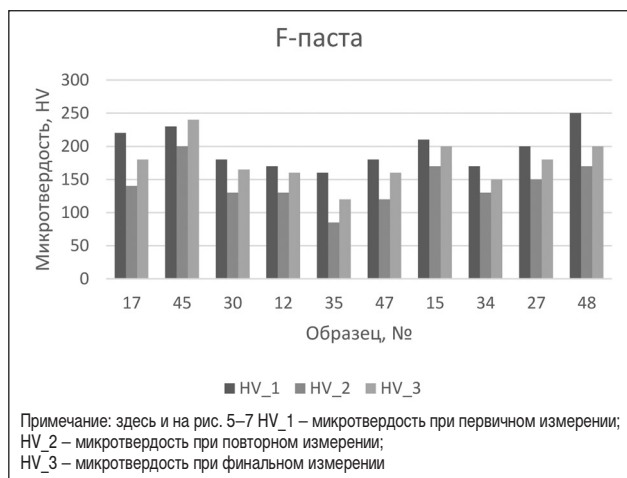


Рис. 4. Изменение микротвердости образцов группы 1

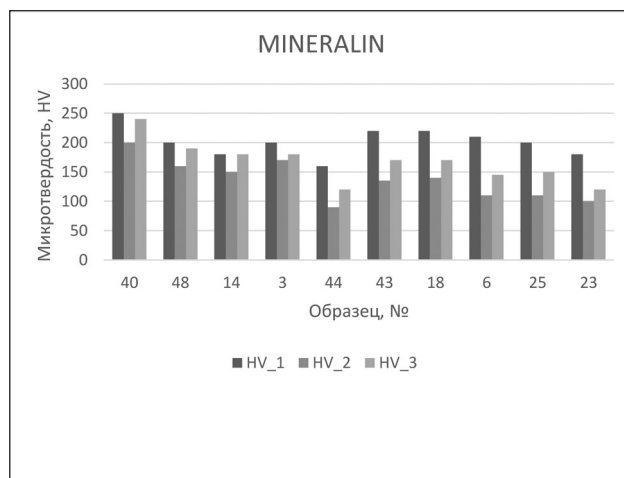


Рис. 5. Микротвердость эмали образцов группы 2

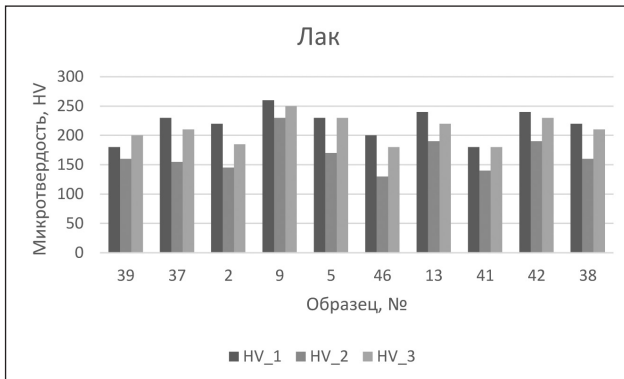


Рис. 6. Показатели микротвердости эмали образцов группы 3

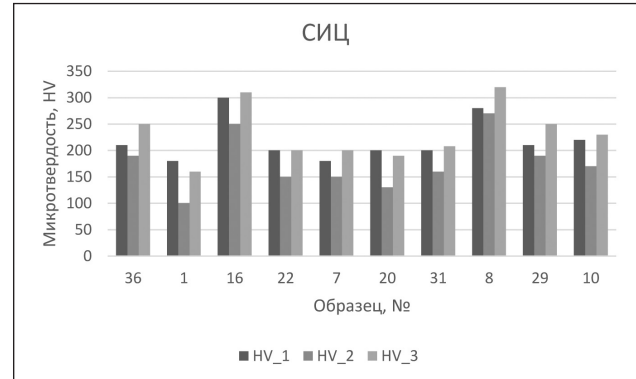


Рис. 7. Изменение микротвердости в группе 4

По истечении 15 дней наибольшее увеличение микротвердости в сравнении с повторным измерением диагностировали в группе 4, в которой использовали стеклоиономерный цемент (HV=55,8; HV3=232 HV) (рис. 7). Различия между средним значением показателя микротвердости в группе 4 и остальными группами были статистически значимы ($p_{4-1}=0,01$, $p_{4-2}=0,02$, $p_{4-3}=0,03$ соответственно). Среднее значение показателя микротвердости эмали зубов после однократного нанесения на участок деминерализации лака (группа 3) увеличился на 42,5 HV в сравнении с повторным измерением и составили 210 HV ($p=0,005$), что на

24% меньше, чем в группе 4 (рис. 6). Разница между этой группой и группами 1 и 2 была статистически значимой ($p_{3-1}=0,01$, $p_{3-2}=0,02$). Наименьшие изменения показателя микротвердости эмали были выявлены в группах 1 (F-паста) и 2 (гель) – 33 HV (176 HV, $p=0,005$) и 29 HV (167 HV, $p=0,005$) соответственно (рис. 4 и 5).

По результатам СЭМ образцов, в результате деминерализации исследуемого участка эмали произошло растворение участков эмалевых призм и межпризменного вещества, что привело к образованию пустот в эмали на глубину 40 μm (рис. 8а). После применения геля (рис. 8б) и зубной пасты (рис. 8в) на СЭМ-изображениях

образцов визуализируются поры и пустоты в эмали, частично заполненные остатками последних. Аппликация лака привела к проникновению минералов и заполнению деминерализованных участков эмали на глубину 25 μm , уплотнению ее поверхности и последующему отрыву большей части массы лака от поверхности эмали (рис. 8г). На СЭМ-изображениях участков образцов со стеклоиономерным цементом поверхность эмали гладкая, однородная без дефектов, на ее поверхности сохраняется тонкий слой цемента (рис. 8д).

В результате проведенного эксперимента установлено, что наибольшей реминерализующей способностью среди исследуемых средств местной профилактики в отношении начальных кариозных поражений обладает стеклоиономерный цемент. Это может быть объяснено свойствами данного материала выделять до 50 ppm фторида сразу после первоначального химического отверждения, а затем поддерживать его выделение в пределах от 0,2 до 4 ppm в течение последующих месяцев. В связи с этим длительное присутствие этого цемента является эффективным средством реминерализации эмали.

По данным измерения микротвердости R.L. Karlinsey и соавт. (2014), реминерализация эмали при помощи функционализированной формы трикальцийфосфата совместно с фто-

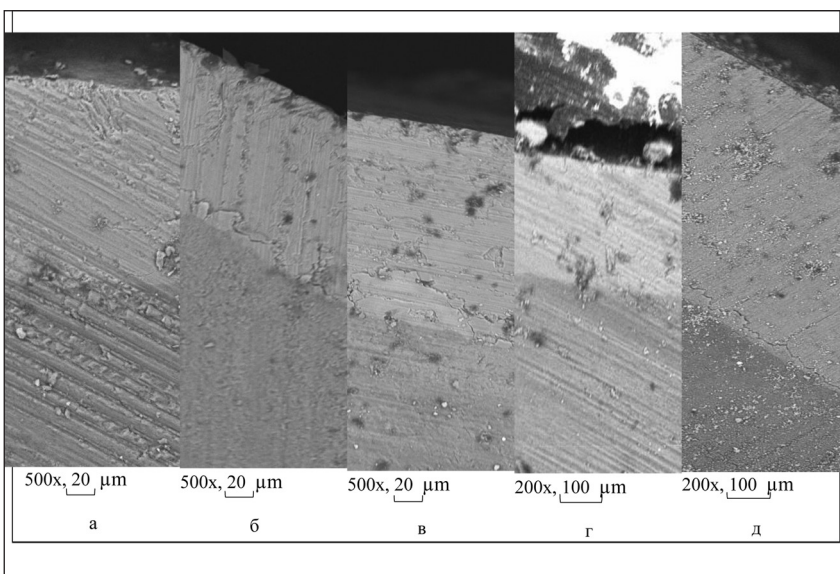


Рис. 8. СЭМ-изображения: а – деминерализованный участок эмали; б – образец группы 1; в – образец группы 2; г – образец группы 3; д – образец группы 4

ридом делает эмаль зубов более прочной и устойчивой к кислотным атакам в сравнении с использованием фторидсодержащей зубной пасты (1150 ppm) и пасты без фторида.

Механизм действия комплекса MINERALIN основан на высвобождении биодоступного кальция, фосфатов и магния и показан для лечения и профилактики начальных кариозных поражений. По данным исследования Kupin и соавт. (2015), магниевый реминерализующий комплекс эффективно укрепляет начальные кариозные поражения эмали и улучшает внешний вид зубов. Однако в исследовании L. Selda и соавт. (2020) более высокий кариеспрофилактический эффект был установлен у фторидсодержащей зубной пасты в сравнении с гелем, содержащим MINERALIN.

Содержание фторида в зубной пасте и минералов в магниевом реминерализующем геле в используемом для чистки зубов

или аппликаций количестве, составляет около 2–3 мг. Полоскание полости рта после чистки и растворение в слюне еще больше снижает их концентрацию в околозубной среде и на поверхности эмали. В ряде исследований (T. Uysal и соавт., 2010; F.J. Wegehaupt и соавт., 2018) установлено, что только чистка зубной пастой или аппликации минерализующих препаратов сами по себе не могут предотвратить прогрессирование начального кариеса – необходимы дополнительные офисные профилактические процедуры.

Заключение

Таким образом, в результате проведенного исследования *in vitro* установлено, что из четырех испытываемых кариеспрофилактических средств наиболее высокой реминерализующей активностью обладает стеклоиономерный цемент. Ежедневная аппликация фторидсодержащей пасты и геля

с комплексом MINERALIN способствует статистически значимому повышению микротвердости деминерализованных участков эмали, которое, однако, ниже по сравнению с однократной аппликацией фторид-кальций-фосфорсодержащего лака. Исходя из полученных результатов, целесообразно при выявлении у детей начальных кариозных поражений на гладких поверхностях проводить аппликацию фторид-кальций-фосфорсодержащего лака, а на окклюзионных поверхностях – герметизацию ямок и фиссур с использованием стеклоиономерного цемента. Для поддержания баланса между процессами де- и реминерализации детям с высоким риском развития кариеса в домашних условиях, наряду с ежедневной чисткой зубов фторидсодержащей пастой, следует рекомендовать применение кальций-фосфатсодержащих гелей.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 9450-76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников.
2. Золоторевский В.С. Механические свойства металлов. – М.: Металлургия, 1983. – 352 с.
3. Anil S., Anand P.S. Early childhood caries: Prevalence, risk factors, and prevention // *Front Pediatr.* – 2017. – Vol.5. – P. 157–163.
4. Malekafzali B., Ekrami M., Mirfasihi A., Abdolazimi Z. Remineralizing Effect of Child Formula Dentifrices on Artificial Enamel Caries Using a pH Cycling Model // *J Dent.* – 2015. – Vol.12, N1. – P. 11–17.
5. Li X., Wang J., Joiner A., Chang J. The remineralisation of enamel: a review of the literature // *J Dent.* – 2014. – Vol.1. – P. 12–20.
6. Kapoor A., Indushekar K.R., Saraf B.G., Sheoran N., Sardana D. Comparative evaluation of remineralizing potential of three pediatric dentifrices // *Int J Clin Pediatr Dent.* – 2016. – Vol.9, N3. – P. 186–191.
7. Leeuw N.H. Resisting the onset of hydroxyapatite dissolution through the

incorporation of fluoride // *The Journal of Physical Chemistry B.* – 2014. – Vol.108, N6. – P. 1809–1811

8. Karlinsey R.L., MacKey A.C., Walker E.R. Surfactant-modified β -TCP: structure, properties, and *in vitro* remineralization of subsurface enamel lesions // *Journal of Materials Science.* – 2013. – Vol.21, N7. – P. 2009–2020.
9. Karlinsey R.L., MacKey A.C., Walker E.R. *In vitro* remineralization of human and bovine white-spot enamel lesions by NaF dentifrices: a pilot study // *Journal of Dentistry and Oral Hygiene.* – 2014. – Vol.3. – P. 22–29.

Конфликт интересов

Согласно заявлению авторов, конфликт интересов отсутствует.

Поступила 11.01.2022
Принята в печать 20.04.2022

Адрес для корреспонденции

Кафедра стоматологии детского возраста
Белорусский государственный медицинский университет
г. Минск, ул. Сухая, 28
220004, Республика Беларусь
Шаковец Наталья Вячеславовна, e-mail: childstom@bsmu.by

Address for correspondence

Department of Pediatric Dentistry
Belarusian State Medical University
28, Sukhaya street, Minsk
220004, Republic of Belarus
Natalia Shakavets, e-mail: childstom@bsmu.by