

DOI: 10.37988/1811-153X_2021_2_6

А.А. Сметанин,
клинический ординатор кафедры детской
стоматологии

Е.В. Екимов,
к.м.н., доцент кафедры детской
стоматологии

Г.И. Скрипкина,
д.м.н., доцент, зав. кафедрой детской
стоматологии

ОмГМУ, 644099, Омск, Россия

Транспорт ионов через твердые ткани зуба при локальной деминерализации эмали

Реферат. Цель — изучение транспорта ионов через эмаль зуба при ее локальной деминерализации на фоне применения кариеспрофилактических гелевых композиций. **Материалы и методы.** Эксперимент осуществлялся с помощью опытного образца прибора «I-ON», разработанного для оценки эффективности ионного транспорта через эмаль зуба. Использовали кариеспрофилактические гели, разработанные и запатентованные ОмГМУ: фтор-гель (F=10 000 ppm), трехкомпонентный Ca-P-F модель «ТриоF Professional» (F=10 000 ppm), модель «Слюна» Ca-P, модель «Эмаль» Ca-P, трехкомпонентный Ca-P-F модель «ТриоF House» (F≤500 ppm), двухкомпонентный Ca-F модель «Дуэт F» (F≤500 ppm). **Результаты.** При очаговой деминерализации эмали отмечается активизация транспорта ионов за счет увеличения ее проницаемости. Наиболее эффективным реминерализующим средством является трехкомпонентный гель Ca-P-F модель «ТриоF House» с невысоким содержанием ионов фтора (500 ppm). Убедительным реминерализующим эффектом обладает двухкомпонентный гель Ca-F модель «Дуэт F» с низким содержанием ионов фтора (500 ppm). Модели, которые не содержат ионов фтора, в эксперименте показали реминерализующую активность. Гель модели «Слюна», в составе которого преобладают фосфат-ионы, продемонстрировал более выраженный эффект по сравнению с моделью «Эмаль», где преобладает концентрация ионов кальция. Фтор-гель с высоким содержанием ионов фтора (10 000 ppm) продемонстрировал ожидаемое неблагоприятное влияние на проницаемость эмали, что нашло отражение в низкой концентрации ионов фтора во внутреннем

растворе после эксперимента. Высокая концентрация ионов фтора в такого рода профилактических средствах приводит к образованию фторида кальция в поверхностном слое эмали, препятствуя активному транспорту ионов в более глубокие слои. Данный эффект менее выражен в композициях «ТриоF House» и «Дуэт F», которые содержат минимальное количество ионов фтора (500 ppm), способствующих активизации транспорта ионов в глубокие слои эмали. **Выводы.** Новые знания об особенностях ионного транспорта при деминерализации эмали позволяют обосновать выбор препарата при лечении начального кариеса эмали зубов. Результаты эксперимента доказали наибольшую эффективность трехкомпонентного геля Ca-P-F модель «ТриоF House» с невысоким содержанием ионов фтора (500 ppm) среди всех исследуемых нами гелей. Убедительный реминерализующий эффект продемонстрировал и двухкомпонентный гель Ca-F модель «Дуэт F», также с низким содержанием ионов фтора (500 ppm).

Ключевые слова: кариес, гели, деминерализация эмали, транспорт ионов, детская стоматология

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Сметанин А.А., Екимов Е.В., Скрипкина Г.И. Транспорт ионов через твердые ткани зуба при локальной деминерализации эмали. — *Клиническая стоматология*. — 2021; 24 (2): 6—9. DOI: 10.37988/1811-153X_2021_2_6

A.A. Smetanin,
clinical resident of the Pediatric dentistry
Department

E.V. Ekimov,
PhD in Medical Sciences, associate professor
of the Pediatric dentistry Department

G.I. Skripkina,
Grand PhD in Medical Sciences, associate
professor and head of the Pediatric dentistry
Department

Omsk State Medical University,
644099, Omsk, Russia

Transport of ions through the tooth tissues during local demineralization of enamel

Abstract. Purpose — to study the transport of ions through the tooth enamel during its local demineralization against the background of the use of caries prophylactic gel compositions. **Materials and methods.** The experiment was carried out using a prototype of the developed device “I-ON” to assess the efficiency of ion transport through the tooth enamel. We used caries prophylactic gels, developed and patented by the Omsk State Medical University — fluoride-gel (F=10,000 ppm), three-component Ca-P-F model “TrioF Professional” (F=10,000 ppm), model “Saliva” Ca-P, Model “Enamel” Ca-P, three-component Ca-P-F model “TrioF House” (F≤500 ppm), two-component Ca-F model “Duet F” (F≤500 ppm). In the experiment, pork canine teeth were used because of their previously established similar porosity of enamel compared to human teeth. **Results.** With focal demineralization of enamel, activation of ion transport is noted due to an increase in enamel permeability. The most effective remineralizing agent is a three-component gel Ca-P-F model “TrioF House” with a low content of fluorine ions (500 ppm). The two-component Ca-F gel, model “Duet F”

with a low content of fluorine ions (500 ppm), has a convincing remineralizing effect. Models that do not contain fluorine ions have shown remineralizing activity in the experiment. Gel model "Saliva", which is dominated by phosphate ions, showed a more pronounced effect in comparison with the model "Enamel", where the concentration of calcium ions prevails. A fluorine gel with a high fluorine ion content (10,000 ppm) showed the expected adverse effect on enamel permeability, which was reflected in the low concentration of fluoride ions in the internal solution after the experiment. A high concentration of fluoride ions in such prophylactic agents leads to the active replacement of calcium and phosphate ions in the enamel crystal lattice and the formation of fluorides in the surface layers, which impede the active transport of ions into the deeper layers of the enamel. This effect is less pronounced in the compositions "TrioF House" and "Duet F", which contain a minimum amount of fluorine ions (500 ppm), which promote the activation of the transport of ions into the deep layers of the enamel. **Conclusions.** New knowledge about the peculiarities of ionic ion transport during enamel demineralization will justify the choice of a drug in the treatment of initial caries of tooth enamel. The results of the experiment proved the highest efficiency of the three-component gel Ca-P-F model "TrioF House" with a low content of fluorine ions (500 ppm). A convincing remineralizing effect was demonstrated by the two-component Ca-F gel model "Duet F", also with a low content of fluorine ions (500 ppm).

Key words: caries, gels, enamel demineralization, ion transport, pediatric dentistry

FOR CITATION:

Smetanin A.A., Ekimov E.V., Skripkina G.I. Transport of ions through the tooth tissues during local demineralization of enamel. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2021; 24 (2): 6—9. DOI: 10.37988/1811-153X_2021_2_6

ВВЕДЕНИЕ

Кариес зубов — глобальная проблема современности. По данным ряда авторов, распространенность кариеса в России среди детей 6 лет составляет 62%, 12 лет — 78%, 15 лет — 88% [1]. Лечение кариеса и его осложнений — болезненный, трудоемкий и дорогостоящий процесс, поэтому важно разрабатывать новые средства и методы его лечения, особенно его обратимой формы — начального кариеса эмали [2].

Уникальность начального кариеса эмали зубов состоит в том, что это единственная форма, которую можно лечить консервативно, без оперативных мероприятий и пломбирования. Изучение возможностей повышения эффективности консервативного лечения начального кариеса — неотъемлемая задача стоматологии, решение которой позволит снизить заболеваемость кариесом на популяционном уровне [5]. Фундаментальные знания об анатомии эмали, об этиологии и патогенезе кариеса создают предпосылку для разработки новейших способов первичной профилактики кариеса [6, 7]. В решении данного вопроса достигнуты значительные результаты: к примеру, известно, что в эмали на уровне элементарных ячеек кристаллов постоянно происходят процессы ионного взаимодействия [3]. Это возможно благодаря важнейшему свойству эмали — проницаемости [4]. Мы решили обратиться к теме нашей работы и изучить ионный транспорт при локальной деминерализации эмали на фоне применения препаратов для консервативного лечения начального кариеса эмали [10].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Научно-исследовательская работа была выполнена на базе научной лаборатории стоматологического факультета ОмГМУ на сертифицированном оборудовании. Эксперимент проводили с использованием опытного образца прибора «I-ON», предназначенного для оценки эффективности ионного транспорта через эмаль зуба. В эксперименте использовали кариеспрофилактические гели, разработанные и запатентованные кафедрой детской стоматологии ОмГМУ: гель модель «Эмаль», гель модель «Слюна», фтор-гель, трех- и двухкомпонентные Фтор-гель (F=10 000 ppm), трехкомпонентный Ca-P-F модель «ТриоF Professional» (F=10 000 ppm), модель «Слюна» Ca-P, модель «Эмаль» Ca-P, трехкомпонентный Ca-P-F модель «ТриоF House» (F≤500 ppm), двухкомпонентный Ca-F модель «Дуэт F» (F≤500 ppm). Эксперимент проводили по ранее разработанной и запатентованной методике [5—8].

Для эксперимента использовали свиные клыки — ранее была установлена пористость их эмали, аналогичная зубной эмали человека. Клыки депульпировали, а полость зуба заполняли физраствором. Клыки помещали в то или иное кариеспрофилактическое средство. Внутри полости зуба помещали положительно заряженный электрод, а снаружи, в гелевое средство — отрицательный электрод. Через такую конструкцию пропускали электрический ток, а затем концентрацию ионов во внутреннем растворе зуба анализировали стандартным методом [9]. Аналогичный эксперимент проводили с клыками с деминерализацией эмали, индуцированной раствором соляной кислоты (30%) в течение 30 секунд.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного исследования были установлены параметры, которые представлены в таблице.

На фоне моделирования очаговой деминерализации эмали установлена активизация транспорта ионов за счет увеличения микропространств в текстуре эмали зуба, что сказывается на ее проницаемости [10].

Анализируя данные таблицы, мы пришли к следующим выводам.

ионообменные процессы в толще эмали зуба. Данный эффект не выражен в композициях «ТриоF House» и «Дуэт F», которые содержат минимальное количество ионов фтора (500 ppm). Более того, присутствие в данных композициях минимальной концентрации ионов фтора благоприятно сказывается на транспорте ионов в глубь эмали зуба, гарантируя оптимизацию ионообменных процессов во всех слоях эмали при консервативной терапии ее очаговой деминерализации.

Результаты эксперимента с деминерализованной и интактной эмалью
[Experimental results with demineralized and intact enamel]

Гелевые композиции	Лабораторные показатели внутреннего раствора								p_1
	pH		[Ca ²⁺], мМ		[PO ₄ ³⁻], мМ		[F ⁻], мМ		
Фтор-гель (F=10 000 ppm)	8,98±0,46	8,85±0,21	—	—	—	—	0,018±0,001	0,032±0,001	<0,001
Трехкомпонентный Са-Р-F модель «ТриоF Professional» (F=10 000 ppm)	9,03±0,49	9,03±0,23	0,17±0,01	0,24±0,04	0,31±0,01	0,41±0,02	0,030±0,010	0,043±0,006	<0,001
Модель «Слюна» Са-Р	8,93±0,45	9,00±0,24	0,29±0,02	0,28±0,02	0,48±0,03	0,54±0,01	—	—	<0,001
Модель «Эмаль» Са-Р	9,07±0,49	8,80±0,11	0,15±0,01	0,24±0,02	0,36±0,02	0,46±0,07	—	—	<0,001
Трехкомпонентный Са-Р-F модель «ТриоF House» (F≤500 ppm)	8,33±0,38	9,03±0,23	0,39±0,03	0,54±0,04	0,48±0,03	0,61±0,02	0,191±0,001	0,213±0,006	<0,001
Двухкомпонентный Са-F модель «Дуэт F» (F≤500 ppm)	8,99±0,47	9,05±0,3	0,16±0,01	0,28±0,01	—	—	0,049±0,010	0,064±0,002	<0,001
<i>p</i>	<0,005		<0,001		<0,001		<0,01		

Примечание: *p* рассчитан по отношению к модели «ТриоF House»; p_1 рассчитан по отношению к показателям эксперимента с деминерализованной эмалью; — показатели эксперимента с деминерализованной эмалью.

Наиболее выраженным реминерализующим эффектом обладает трехкомпонентный гель Са-Р-F модель «ТриоF House» с невысоким содержанием ионов фтора (500 ppm). Убедительный реминерализующий эффект продемонстрировал двухкомпонентный гель Са-F модель «Дуэт F», также с низким содержанием ионов фтора (500 ppm).

Гелевые композиции, которые не содержат ионов фтора, показали в эксперименте убедительную реминерализующую активность ($p<0,001$). Гель модели «Слюна», в составе которого преобладают фосфат-ионы, продемонстрировал более выраженный эффект по сравнению с моделью «Эмаль», в котором преобладает концентрация ионов кальция.

Фтор-гель с высоким содержанием ионов фтора (10 000 ppm) продемонстрировал ожидаемое неблагоприятное влияние на проницаемость эмали [11]; это нашло отражение в низкой концентрации ионов фтора во внутреннем растворе после эксперимента ($p<0,001$). Более того, высокая концентрация ионов фтора в такого рода средствах приводит к образованию фторида кальция в поверхностном слое эмали, замедляя

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новые знания об особенностях ионного транспорта при деминерализации эмали зуба на фоне использования кариеспрофилактических средств позволяют теоретически обосновать эффективность проведения консервативного лечения начального кариеса. В результате проведенного эксперимента установлено, что наиболее эффективными гелевыми композициями для лечения начального кариеса являются гели с минимальным содержанием ионов фтора и преобладанием ионов фосфора над ионами кальция. Данные композиции содержат необходимый ионный спектр реминерализующих компонентов на фоне эффективной проникающей способности ионов в очаг деминерализации эмали.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Поступила: 09.03.2021 **Принята в печать:** 29.04.2021

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.
Received: 09.03.2021 **Accepted:** 29.04.2021

Л И Т Е Р А Т У Р А :

1. **Скрипкина Г.И., Екимов Е.В.** Роль диспансеризации в снижении заболеваемости кариесом зубов у детей. — *Стоматология детского возраста и профилактика*. — 2015; 2 (53): 68—71. eLIBRARY ID: 24346492
2. **Екимов Е.В., Скрипкина Г.И.** Заболеваемость начальным кариесом зубов у детей г. Омска с учетом степени активности патологического процесса. — *Институт стоматологии*. — 2017; 2 (75): 22—3. eLIBRARY ID: 29436536
3. **Екимов Е.В.** Клинико-лабораторные особенности течения и консервативного лечения начального кариеса зубов у детей при различной активности кариозного процесса: дис. ... к.м.н. — Омск, 2017. — 197 с.
4. **Скрипкина Г.И., Питаева А.Н.** Факторы риска в патогенезе развития кариеса зубов у детей дошкольного возраста. — *Стоматология детского возраста и профилактика*. — 2013; 3 (46): 7—11. eLIBRARY ID: 20619499
5. **Скрипкина Г.И., Екимов Е.В., Солоненко А.П.** Способ оценки эффективности профилактических реминерализующих Са-Р содержащих средств на гелевой основе. — Патент РФ № 2723597, действ. с 30.07.2019. eLIBRARY ID: 43902415
6. **Сунцов В.Г., Питаева А.Н., Ландинова В.Д., Дистель В.А., Гарифуллина А.Ж., Тордия А.Р., Волошина И.М.** Способ получения состава для лечения начального кариеса зубов. — Патент RU № 2280432, действ. до 02.03.2006. eLIBRARY ID: 37991591
7. **Скрипкина Г.И., Солоненко А.П., Боксгорн В.В., Митяева Т.С., Екимов Е.В.** Способ получения средства профилактики кариеса зубов у детей. — Патент RU № 2627671, действ. с 29.03.2016. eLIBRARY ID: 38268890
8. **Скрипкина Г.И., Солоненко А.П., Боксгорн В.В., Гарифуллина А.Ж.** Способ получения кальций-фосфат-фторсодержащего геля для реминерализации эмали зубов у детей. — Патент RU № 2688230, действ. до 03.07.2020. eLIBRARY ID: 38147650
9. **Коршунов А.П., Сунцов В.Г., Питаева А.Н.** Физико-химические аспекты транспорта ионов через эмаль зуба. — *Стоматология*. — 2000; 4: 6—9. eLIBRARY ID: 30110087
10. **Екимов Е.В., Сметанин А.А.** Повышение эффективности профилактических мероприятий кариеса зубов в детском возрасте с использованием реминерализующей терапии. — *Стоматология детского возраста и профилактика*. — 2018; 3 (66): 18—22. eLIBRARY ID: 36347130
11. **Скрипкина Г.И., Питаева А.Н., Романова Ю.Г., Голочалова Н.В.** Кариесогенность зубного налета и проблема прогнозирования кариеса зубов в детском возрасте. — *Стоматология детского возраста и профилактика*. — 2014; 2 (49): 9—11. eLIBRARY ID: 22263922

R E F E R E N C E S :

1. **Skripkina G.I., Ekimov E.V.** The role of clinical examination in reducing the incidence of dental caries in children. *Pediatric Dentistry and Profilaxis*. 2015; 2 (53): 68—71 (In Russ.). eLIBRARY ID: 24346492
2. **Ekimov E.V., Skripkina G.I.** The incidence of initial tooth decay in Omsk children, taking into account the degree of activity of the pathological process. *The Dental Institute*. 2017; 2 (75): 22—3 (In Russ.). eLIBRARY ID: 29436536
3. **Ekimov E.V.** Clinical and laboratory features of the course and conservative treatment of initial dental caries in children with different activity of the carious process: master's thesis. Omsk, 2017. 197 p. (In Russ.).
4. **Skripkina G.I., Pitaeva A.N.** Risk factors in the pathogenesis of tooth decay in preschool children. *Pediatric Dentistry and Profilaxis*. 2013; 3 (46): 7—11 (In Russ.). eLIBRARY ID: 20619499
5. **Skripkina G.I., Ekimov E.V., Solonenko A.P.** A method for assessing the effectiveness of prophylactic remineralizing Ca-P effective gel-based agents. Patent RU #2723597, effective from 30.07.2019 (In Russ.). eLIBRARY ID: 43902415
6. **Suntsov V.G., Pitaeva A.N., Landinova V.D., Distel V.A., Garifulina A.Zh., Toriya A.R., Voloshina I.M.** A method of obtaining a composition for the treatment of initial dental caries. Patent RU #2280432, effective till 02.03.2006 (In Russ.). eLIBRARY ID: 37991591
7. **Skripkina G.I., Solonenko A.P., Boxgorn V.V., Mityaeva T.S., Ekimov E.V.** A method of obtaining a means of preventing dental caries in children. Patent RU #2627671, effective from 29.03.2016 (In Russ.). eLIBRARY ID: 38268890
8. **Skripkina G.I., Solonenko A.P., Boxgorn V.V., Garifulina A.Zh.** Method for producing calcium-phosphate-fluorine-containing gel for remineralization of tooth enamel in children. Patent RU #2688230, effective till 03.07.2020 (In Russ.). eLIBRARY ID: 38147650
9. **Korshunov A.P., Suntsov V.G., Pitaeva A.N.** Physicochemical aspects of ion transport through tooth enamel. *Stomatology*. 2000; 4: 6—9 (In Russ.). eLIBRARY ID: 30110087
10. **Ekimov E.V., Smetanin A.A.** Increase of preventive care effectiveness of childhood dental caries with the use of remineralizing agents (the literary review). *Pediatric Dentistry and Profilaxis*. 2018; 3 (66): 18—22 (In Russ.). eLIBRARY ID: 36347130
11. **Skripkina G.I., Pitaeva A.N., Romanova Yu.G., Golochalova N.V.** The ability of dental deposit to cause caries and caries forecasting problem in childhood. *Pediatric Dentistry and Profilaxis*. 2014; 2 (49): 9—11 (In Russ.). eLIBRARY ID: 22263922