

## 3.1.7. СТОМАТОЛОГИЯ / DENTISTRY

УДК 616.314-74

DOI: 10.55531/2072-2354.2023.23.2.13-18

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОФИЛАКТИКИ РЕЦИДИВИРУЮЩЕГО КАРИЕСА ЗУБОВ МЕТОДОМ ГАЛЬВАНОФОРЕТИЧЕСКОЙ НАНОИМПРЕГНАЦИИ ДЕНТИНА

**А.Р. Бессуднова<sup>1</sup>, В.А. Румянцев<sup>1</sup>, Г.А. Фролов<sup>2</sup>, А.В. Блинова<sup>1</sup>, В.В. Битюков<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Тверской государственный медицинский университет» Минздрава России (Тверь, Россия)

<sup>2</sup>НИТУ «Московский институт стали и сплавов» Министерства высшего образования и науки России (Москва, Россия)

**Для цитирования:** Бессуднова А.Р., Румянцев В.А., Фролов Г.А., Блинова А.В., Битюков В.В. Экспериментальная оценка возможности профилактики рецидивирующего кариеса зубов методом гальванофоретической наноимпрегнации дентина. *Аспирантский вестник Поволжья*. 2023;23(2):13-18. doi: 10.55531/2072-2354.2023.23.2.13-18

#### ■ Сведения об авторах

Бессуднова А.Р. – аспирант кафедры пародонтологии. ORCID: 0000-0001-9565-7133 E-mail: bessudnova.aleksa@yandex.ru

Румянцев В.А. – д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой пародонтологии. ORCID: 0000-0001-6045-3333

E-mail: rumyantsev\_v@tvngmu.ru

Фролов Г.А. – доцент кафедры физической химии. ORCID: 0000-0003-1460-6030 E-mail: georgifroloff@yandex.ru

Блинова А.В. – аспирант кафедры пародонтологии. ORCID: 0000-0002-4315-163X E-mail: blinova-alisa@mail.ru

Битюков В.В. – ассистент кафедры стоматологии. ORCID: 0000-0003-0479-4971 E-mail: bityukova\_l@mail.ru

Рукопись получена: 17.02.2023

Рецензия получена: 10.05.2023

Решение о публикации: 11.05.2023

#### ■ Аннотация

**Цель исследования** – оценить степень импрегнации дентина дна механически обработанных кариозных полостей зубов наночастицами препарата гидроксида меди-кальция (ГМК) под влиянием гальванофореза.

**Материал и методы.** Исследование провели на 21 зубе, удаленном по различным врачебным показаниям, с сопутствующим диагнозом «кариес дентина». После механической обработки полости промывали физиологическим раствором, затем на дно помещали пасту ГМК, сверху покрывали алюминиевой фольгой, устанавливали дренаж из хлопчатобумажной нити и изолировали временными пломбами. Для поддержания осмотического баланса зубы помещались в лабораторную модель, представляющую собой пластиковую ванночку с физиологическим раствором и меламиновой губкой, на срок 1, 14 и 30 суток. Затем готовили продольные спилы зубов, которые подвергали электронно-микроскопическому исследованию.

**Результаты.** При проведении гальванофореза ГМК импрегнация дентина в области дна кариозной полости зуба высокодисперсными частицами, содержащими медь, происходит уже в течение первых суток. При этом глубина проникновения частиц препарата достигает 10,1 мкм. Максимальная глубина проникновения частиц в дентин (до 30 мкм) наблюдается при длительности гальванофореза в течение 30 суток. Максимальные значения коэффициента диффузии и ее скорости регистрируются по истечении первых суток проведения гальванофореза. При увеличении времени гальванофореза до 14 и 30 дней эти показатели снижаются.

**Заключение.** Описанная методика может использоваться как вариант выбора с целью профилактики рецидивирующего кариеса зубов, особенно при наличии глубоких полостей.

■ **Ключевые слова:** рецидивирующий кариес, гальванофорез, наночастицы.

■ **Конфликт интересов:** не заявлен.

#### ■ Список сокращений

ГМК – гидроксид меди-кальция.

### EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE GALVANOPHORETIC DENTIN NANOIMPREGNATION FOR RECURRENT CARIES PREVENTION

**Aleksandra R. Bessudnova<sup>1</sup>, Vitalii A. Rumyantsev<sup>1</sup>, Georgii A. Frolov<sup>2</sup>, Alisa V. Blinova<sup>1</sup>, Vladimir V. Bityukov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Tver State Medical University (Tver, Russia)

<sup>2</sup>National University of Science and Technology "MISIS" (Moscow, Russia)

**Citation:** Bessudnova AR, Rumyantsev VA, Frolov GA, Blinova AV, Bityukov VV. *Experimental evaluation of the galvanophoretic dentin nanoimpregnation for recurrent caries prevention. Aspirantskiy vestnik Povolzh'ya*. 2023;23(2):13-18. doi: 10.55531/2072-2354.2023.23.2.13-18

#### ■ Information about authors

Aleksandra R. Bessudnova – a postgraduate student of the Department of Periodontology. ORCID: 0000-0001-9565-7133

E-mail: bessudnova.aleksa@yandex.ru

Vitalii A. Rumyantsev – PhD, Professor, Head of the Department of Periodontology. ORCID: 0000-0001-6045-3333

E-mail: rumyantsev\_v@tvngmu.ru

Georgii A. Frolov – PhD, Associate professor of the Department of Physical Chemistry. ORCID: 0000-0003-1460-6030

E-mail: georgifroloff@yandex.ru

### ▪ Abstract

**Aim** – to study the dentine galvanophoretic impregnation with nanoparticles of copper–calcium hydroxide (CCH) in the teeth with carious cavities.

**Material and methods.** The study was conducted on 21 teeth removed for various medical indications, with a concomitant diagnosis "dental caries". After mechanical treatment, the cavities were washed with saline solution, then CCH paste was placed on the cavity floor, covered with aluminum foil, drained and isolated with temporary fillings. To maintain the osmotic balance, the teeth were placed in a laboratory model: a plastic bath with saline solution and a melamine sponge, for a period of 1, 14 and 30 days. Then the longitudinal teeth sections were prepared for the electron microscopic examination.

**Results.** During the CCH galvanophoresis, the dentine impregnation with copper nanoparticles in the area of cavity floor occurred already during the first day of the procedure. The penetration depth reached 10.1 microns. The maximum depth of penetration of particles into the dentin (up to 30 microns) was detected after the 30-days-galvanophoresis. The maximum values of the diffusion coefficient and its velocity were recorded after the first day. With an increase in the time of galvanophoresis to 14 and 30 days, these indicators decreased.

**Conclusion.** The described method may be used as an option of choice for the prevention of recurrent dental caries, especially in the presence of deep cavities.

▪ **Keywords:** secondary caries, galvanophoresis, nanoparticles.

▪ **Conflict of interest:** *nothing to disclose.*

## ВВЕДЕНИЕ

Распространенность кариеса зубов у взрослого населения составляет 95–99% [1]. Достаточно высока и распространенность рецидивирующего кариеса, которая варьирует от 13% до 35% [2–5].

Рецидивы кариеса возникают прежде всего в результате деструкции органических субстанций дентина под влиянием микробной биопленки, оставшейся как в необработанных участках дна и стенок полости, так и в глубине дентинных канальцев [6, 7]. Клинический опыт показывает, что ни применение кариес-индикаторов, ни использование высокоактивных ирригационных растворов, ни лазерное или ультразвуковое воздействия не гарантируют надежной профилактики персистенции микрофлоры в дентинных канальцах, где она может находиться на глубине от нескольких микрометров до десятков микрометров [8]. Таким образом, для профилактики кариеса под реставрациями должны использоваться материалы, оказывающие выраженное пролонгированное бактерицидное действие [9].

Уникальные свойства наноматериалов и биологическая активность частиц в размерном диапазоне от 1 до 100 нм уже сейчас используются в медицине, микроэлектронике, энергетике, строительстве, химической, фармацевтической, парфюмерно-косметической и пищевой промышленности [10]. В стоматологии одним из хорошо зарекомендовавших себя и разрешенных к применению нанопрепаратов является гидроксид меди-кальция (гидроксокупрат кальция, ГМК), имеющий химическую формулу  $\text{Ca}[\text{Cu}(\text{OH})_4]$ . Он обладает высокоактивным противомикробным и обтурирующим действиями [11]. В водной суспензии препарат представлен агрегатами микрочастиц размерами 40–60 мкм. Такие агрегаты в свою очередь образованы сферическими частицами, образующимися путем коалесценции кристаллогидратов оксида

меди (II) и оксида кальция, имеющих средний размер  $12 \pm 3,2$  нм [12].

В эндодонтии при лечении апикального периодонтита успешно используются методики применения ГМК: депофорез, гальванофорез, пассивная наноимпрегнация. С их помощью удается осуществлять деконтаминацию пространств в дентине корня зуба на достаточной глубине, что позволяет предупредить рецидив заболевания и существенно повысить эффективность эндодонтического лечения [13]. При этом применение препаратов ГМК для профилактики возникновения рецидивирующего кариеса до сих пор изучено недостаточно.

В эксперименте, благодаря оптическим свойствам меди, с помощью высокочувствительного светового микроскопа возможно зарегистрировать наличие высокодисперсных частиц, содержащих медь, в дентине на глубине до 500 мкм, в концентрации более 0,2%. Анализируя эти данные, можно прогнозировать антибактериальный эффект наноимпрегнации дентина зуба ГМК, в том числе при лечении глубокого кариеса.

## ЦЕЛЬ

Экспериментальная оценка степени импрегнации дентина дна механически обработанных кариозных полостей зубов наночастицами препарата гидроксида меди-кальция под влиянием гальванофореза для профилактики рецидивирующего кариеса.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование провели на 21 зубе, удаленном по различным врачебным показаниям, с сопутствующим диагнозом по МКБ-10 «K02.1 – кариес дентина». Глубина кариозных полостей в области всех зубов была одинаковой, характерной

для глубокого кариеса. Течение кариеса было хроническим. Механическую обработку осуществляли с помощью зубоврачебных боров, согласно принятым в России клиническим рекомендациям по лечению кариеса. При этом размягченный пигментированный дентин убирали и полости препарировали до плотного дентина, когда кончик зубоврачебного зонда не увязал в нем, а легко скользил по дну. После механической обработки зубы помещали в лабораторную модель. Полости промывали физиологическим раствором и высушивали воздухом. Затем на дно полостей помещали пасту ГМК слоем толщиной не более 1 мм, которую сверху покрывали алюминиевой фольгой, устанавливали дренаж из хлопчатобумажной нити и изолировали временными пломбами из стеклополиалкена цемента. В качестве препарата ГМК использовали «Купрал»® (Humanchemie GmbH, Германия).

Лабораторная модель представляла собой пластиковую ванночку с физиологическим раствором и меламиновой губкой, в которую помещали удаленные зубы с препарированными полостями так, чтобы они до уровня шеек были погружены в физиологический раствор (**рисунок 1А**). Концы дренажных нитей, выходящие из-под временных пломб, также погружали в физиологический раствор. Таким образом осуществляли гальванофорез ГМК в дентин дна полостей разных зубов в течение 1, 14 и 30 суток. По окончании этих периодов зубы извлекали из модели, удаляли временные пломбы, фольгу и остатки ГМК. Затем с помощью тонких алмазных боров получали спилы коронковых частей зубов в области сформированных полостей толщиной 300–500 мкм (**рисунок 1В**). Спилы подвергали электронно-микроскопическому исследованию с целью оценки глубины импрегнации дентина ГМК относительно дна полостей в зубах, а также качественную и количественную оценку перемещения заряженных частиц ГМК

в дентинные каналы зубов под влиянием гальванического тока.

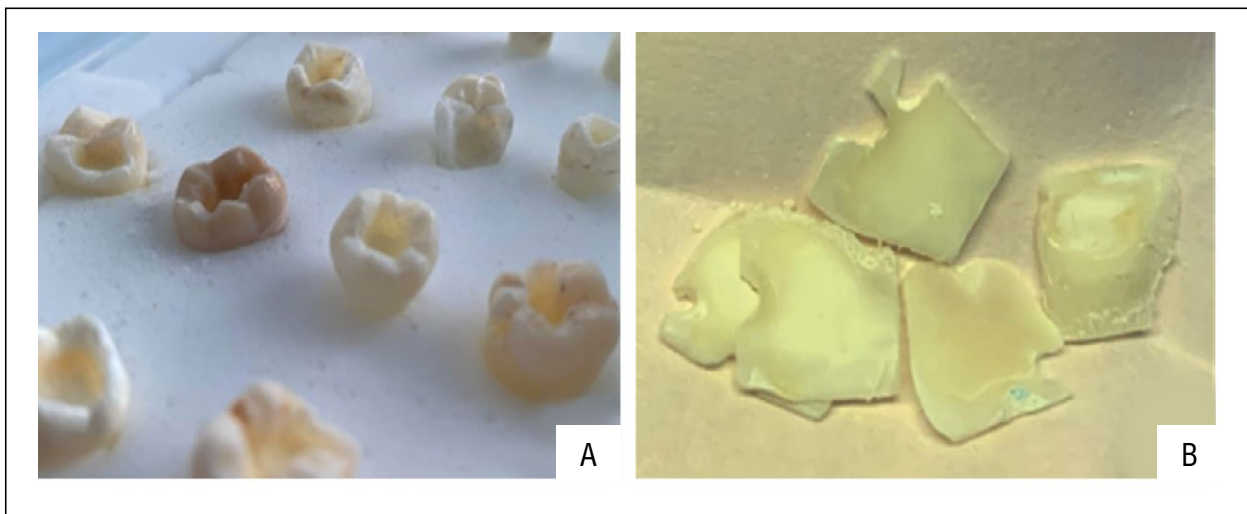
Просвечивающую электронную микроскопию препаратов проводили с помощью просвечивающего электронного микроскопа LEO 912 5 ABOMEGA (Karl Zeiss) с энергетическим фильтром и системой Келлера (ускоряющее напряжение: 60, 80, 100, 120 кВ, область освещения: 1–75 мкм, апертура освещения – 0,02–5 миллирадиан, разрешение по энергии упругого рассеивания – 1,5 эВ, область измерения энергии неупругого рассеивания – 0–2500 эВ).

Статистический анализ включал вычисление из вариационных рядов среднего диаметра частиц ГМК, средней массовой концентрации частиц в исследуемом препарате, средней глубины обнаружения в дентине максимальной массовой концентрации частиц, среднего значения максимальной глубины проникновения частиц препарата в дентин, а также средней концентрации частиц в образцах на этих двух уровнях. Данные представлены в формате  $M \pm m$ . Для сравнения данных показателей в экспериментальных группах применяли критерий Стьюдента или критерий Манна – Уитни, в зависимости от характеристик распределения данных.

Кроме того, по результатам электронно-микроскопического исследования рассчитывали коэффициент диффузии ( $D$ ) и скорость диффузии ( $v$ ), которые определяли по формулам Дайнеса – Баррера на отрезке от дна полости в зубе до спектра исследования в глубине дентина, где электронный микроскоп регистрировал медь-содержащие частицы в концентрации более чем 0,2%.

$$D = \frac{x^2}{6t}, \text{ мкм}^2/\text{сутки} \quad v = \frac{x}{t}, \text{ мкм}/\text{сутки} \quad (1)$$

где  $x$  – глубина импрегнации дентина, мкм;  $t$  – время импрегнации дентина, сутки.



**Рисунок 1.** Экспериментальная лабораторная модель (А), спилы зубов с кариозными полостями (В).

**Figure 1.** Experimental laboratory model (A), tooth sections with carious cavities (B).

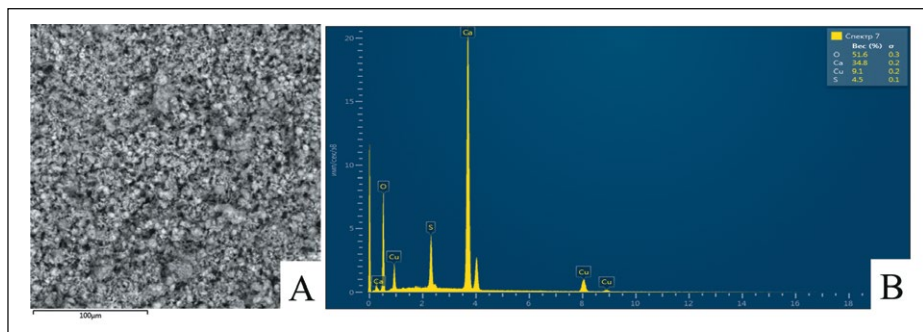
## РЕЗУЛЬТАТЫ

При визуализации с помощью просвечивающего электронного микроскопа в составе препарата гидроксида меди-кальция «Купрал»® обнаружены частицы размером  $277 \pm 22,6$  нм (рисунок 2). Среднее значение массовой концентрации (С, %) высокодисперсных частиц, содержащих медь, в препарате составило 10,3%. Эта концентрация впоследствии являлась исходной для расчетов распределения частиц от границы дна кариозных полостей.

При проведении гальванофореза пасты «Купрал»® в течение одних суток максимальная массовая концентрация выявляемых высокодисперсных частиц, содержащих медь, была зарегистрирована на глубине  $1,8 \pm 0,05$  мкм от дна полостей и составила 1,2%, при средней концентрации  $0,75 \pm 0,08\%$ . Максимальная глубина проникновения и визуализация высокодисперсных частиц, содержащих медь, в количестве 0,3% в образцах составила  $10,1 \pm 0,22$  мкм (рисунок 3А). Согласно расчетам, коэффициент диффузии (D) был равен  $17,0 \pm 0,18$  мкм<sup>2</sup>/сутки, а ее скорость (v) –  $10,1 \pm 0,11$  мкм/сутки.

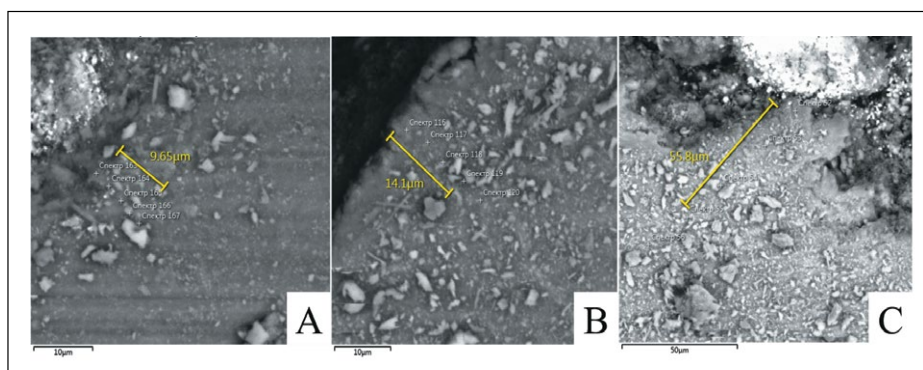
При проведении гальванофореза пасты «Купрал»® в течение 14 суток максимальная концентрация высокодисперсных частиц, содержащих медь, (2,0%) была зарегистрирована на глубине  $0,4 \pm 0,04$  мкм, а наиболее отдаленная точка проникновения при концентрации 0,3% была зафиксирована на глубине  $19,3 \pm 0,27$  мкм (рисунок 3В). Коэффициент диффузии (D) составил  $4,4 \pm 0,05$  мкм<sup>2</sup>/сутки, скорость диффузии (v) –  $1,4 \pm 0,07$  мкм/сутки.

При проведении гальванофореза пасты «Купрал»® в течение 30 суток максимальная концентрация высокодисперсных частиц, содержащих медь, составила 1,9% на глубине  $5,0 \pm 0,03$  мкм, при средней концентрации  $0,8 \pm 0,06\%$ . Максимальная глубина проникновения и визуализация частиц при концентрации 0,4% в образцах составила  $30,0 \pm 0,54$  мкм (рисунок 3С). Коэффициент диффузии (D) составил  $0,2 \pm 0,03$  мкм<sup>2</sup>/сутки, скорость диффузии (v) –  $1,0 \pm 0,02$  мкм/сутки.



**Рисунок 2.** Результаты просвечивающей электронной микроскопии (А) и рентгенофлуоресцентного элементного анализа (В) препарата «Купрал»®.

**Figure 2.** Results of transmission electron microscopy (A) and X-ray fluorescence elemental analysis (B) of the preparation Cupral®.

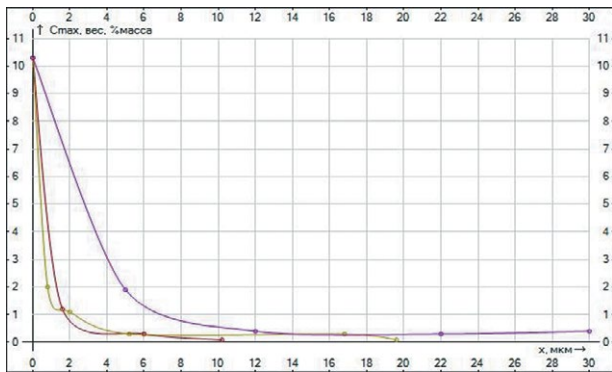


**Рисунок 3.** Примеры электронных микрофотографий спилов зубов после проведения процедур гальванофореза препарата «Купрал»® в течение А – одних суток, В – 14 суток, С – 30 суток.

**Figure 3.** Electronic microphotographs of tooth sections after galvanophoresis procedures of the preparation Cupral® during A – 1 day, B – 14 days, C – 30 days.

На рисунке 4 приведены графики зависимости концентрации высокодисперсных частиц, содержащих медь, в дентине кариозных полостей зубов от длительности гальванофоретической наноимпрегнации. Сравнительный статистический анализ значений, полученных в разные сроки гальванофоретической наноимпрегнации (1, 14 и 30 суток), продемонстрировал существенное различие между показателями глубины обнаружения в дентине дна кариозных полостей максимальной концентрации высокодисперсных частиц, содержащих медь (1,8; 0,4 и 5,0 мкм соответственно,  $p < 0,001$ ). Столь же выраженные различия были обнаружены и между средними показателями максимальной глубины проникновения препарата в дентин (10,1; 19,3 и 30,0 мкм соответственно срокам наноимпрегнации,  $p < 0,001$ ).

Расчет коэффициентов диффузии в разные сроки гальванофоретической наноимпрегнации показал, что их значения существенно уменьшаются с течением времени. Такое снижение средних показателей D относительно первых суток составило 3,9 раза к 14 суткам и 85 раз к 30 суткам ( $p < 0,001$ ). Соответственно и средние показатели скорости импрегнации к 14 суткам уменьшились в 7,2 раза, а к 30 суткам – в 10,1 раза ( $p < 0,001$ ).



**Рисунок 4.** Концентрация высокодисперсных частиц, содержащих медь, в дентине зубов на различной глубине при проведении гальванофореза пасты «Купрал»® в течение различного времени: кривая красного цвета – 1 сутки, кривая желтого цвета – 14 суток, кривая фиолетового цвета – 30 суток.

**Figure 4.** Concentration of copper-nanoparticles in the tooth dentine during galvanophoresis of Cupral® paste for different time periods: red curve – 1 day, yellow curve – 14 days, purple curve – 30 days.

## ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования установлено, что под воздействием гальванического тока препарат гидроксида меди-кальция проникает в толщу дентина по дентинным каналам. Максимальная глубина проникновения, зарегистрированная в настоящем исследовании, составила 30 мкм. Учитывая создание максимальной массовой концентрации 10,3% высокодисперсных частиц, содержащих медь, в области дна полостей и постепенное ее уменьшение до 2%, можно предположить, что проникновение частиц со средним размером  $277 \pm 22,6$  нм происходит как под влиянием гальванического тока, так и за счет градиента концентрации. Но постепенно процесс тормозится вследствие кристаллизации препарата и образования частиц большего размера, имеющих соответственно меньшую диффузионную способность. Четко определена средняя зона импрегнации дентина высокодисперсными частицами, содержащими медь, характерная для всех образцов с разными сроками гальванофореза, – это зона от 2 до 6 мкм от дна полостей.

Было выявлено, что в течение первых суток наблюдается максимальное насыщение дентина высокодисперсными частицами, содержащими медь. В этот период коэффициент диффузии частиц максимален и составляет в среднем  $7,2 \pm 0,07$  мкм<sup>2</sup>/сутки. Далее скорость импрегнации дентина частицами уменьшается, теряется их способность проникать в дентинные каналы и в последующем диффузия практически прекращается. Таким образом, можно предположить, что терапевтический эффект при проведении гальванофореза ГМК в области дна кариозной полости может быть достигнут уже по истечении первых суток экспозиции.

Учитывая диаметр дентинных канальцев в области дна полостей – около 0,5 мкм и его постепенное увеличение до 2–3 мкм в зоне околопульпарного дентина [14], можно предположить, что возможна импрегнация дентина на большую глубину, при условии, что препарат ГМК не будет образовывать крупные конгломераты кристаллов из-за увеличения в этом случае количества дентинной жидкости. Возможным вариантом замедления кристаллизации частиц может быть добавление к препарату ГМК гидрозоля наночастиц меди или серебра размерами 1–5 нм. Известно, что, образуя с заряженными частицами ГМК комплексные структуры, они могут многократно повышать их кинетическую энергию [12]. Однако и обнаруженные в ходе настоящего исследования находки позволяют говорить о том, что наноимпрегнация дентина в области дна кариозной полости способна надежно obturировать дентинные каналы в этой зоне, оказывая выраженное пролонгированное противомикробное действие, аналогичное таковому в случаях эндодонтического лечения зубов с применением методов наноимпрегнации дентина корня [15]. Поэтому можно надеяться, что, будучи подтвержденной в клинических исследованиях, описанная методика может использоваться как вариант выбора с целью профилактики рецидивирующего кариеса зубов, особенно при наличии глубоких полостей.

## ВЫВОДЫ

1. При проведении гальванофореза препарата гидроксида меди-кальция «Купрал»® импрегнация дентина в области дна кариозной полости зуба высокодисперсными частицами, содержащими медь, происходит уже в течение первых суток. При этом глубина проникновения частиц препарата достигает 10,1 мкм.

2. При увеличении длительности гальванофореза «Купрала»® до 14 суток происходит увеличение как глубины проникновения частиц в дентин (с 10,1 до 19,3 мкм), так и массовой концентрации высокодисперсных частиц, содержащих медь, на границе импрегнации (с 1,2 до 2%). Максимальная глубина проникновения частиц в дентин (до 30 мкм) наблюдается при длительности гальванофореза в течение 30 суток.

3. Максимальные значения коэффициента диффузии (D) и ее скорости (v) регистрируются по истечении первых суток проведения гальванофореза. При увеличении времени гальванофореза до 14 и 30 дней эти показатели снижаются.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Chisini LA, Collares K, Cademartori MG, et al. Restorations in primary teeth: a systematic review on survival and reasons for failures. *Int J Paediatr Dent.* 2018;28(2):123-139. doi: 10.1111/ipd.12346
2. Askar H, Krois J, Göstemeyer G, et al. Secondary caries: what is it, and how it can be controlled, detected, and managed? *Clin Oral Investig.* 2020;24(5):1869-1876. doi: 10.1007/s00784-020-03268-7
3. Berkowitz RJ, Amante A, Копычка-Kedzierawski DT, et al. Dental caries recurrence following clinical treatment for severe early childhood caries. *Pediatr Dent.* 2011;33(7):510-514.
4. Brouwer F, Askar H, Paris S, et al. Detecting secondary caries lesions: A systematic review and meta-analysis. *J Dent Res.* 2016;95(2):143-151. doi: 10.1177/0022034515611041
5. Pine CM, Adair PM, Burnside G, et al. Dental recur randomized trial to prevent caries recurrence in children. *J Dent Res.* 2020;99(2):168-174. doi: 10.1177/0022034519886808
6. Zhang N, Ma Y, Weir MD, et al. Current Insights into the Modulation of Oral Bacterial Degradation of Dental Polymeric Restorative Materials. *Materials (Basel).* 2017;10(5):507. doi: 10.3390/ma10050507
7. Zorina OA, Petrukhina NB, Tupitsin AA, et al. Diagnostic and prognostic significance of the hypoxia-dependent factor-1 $\alpha$  for the development of a carious lesion. *Stomatologiya.* 2019;98(4):15-19. (In Russ.). [Зорина О.А., Петрухина Н.Б., Тупицин А.А., и др. Диагностическая и прогностическая значимость гипоксия-зависимого фактора-1 $\alpha$  для развития кариозного поражения. *Стоматология.* 2019;98(4):15-19]. doi: 10.17116/stomat20199804115
8. Ricucci D, Siqueira JF Jr. Biofilms and apical periodontitis: study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *J Endod.* 2010;36(8):1277-1288. doi: 10.1016/j.joen.2010.04.007
9. Schwendicke F, Kern M, Blunck U, et al. Marginal integrity and secondary caries of selectively excavated teeth in vitro. *J Dent.* 2014;42(10):1261-1268. doi: 10.1016/j.jdent.2014.08.002
10. Blinova AV, Rummyantsev VA. Nanotechnologies as the reality of modern dentistry (literature review). *Endodontics Today.* 2020;18(2):56-61. (In Russ.). [Блинова А.В., Румянцев В.А. Нанотехнологии – реальность современной стоматологии (обзор литературы). *Эндодонтия Today.* 2020;18(2):56-61]. doi: 10.36377/1683-2981-2020-18-2-56-61
11. Meto A, Droboniku E, Blasi E, et al. Copper-Calcium Hydroxide and Permanent Electrophoretic Current for Treatment of Apical Periodontitis. *Materials (Basel).* 2021;14(3):678. doi: 10.3390/ma14030678
12. Rummyantsev VA, Frolov GA, Blinova AV, et al. Electron microscopic properties of a new antimicrobial nanodrug based on copper-calcium hydroxide compound. *Avicenna Bulletin.* 2021;23(4):532-41. (In Russ.). [Румянцев В.А., Фролов Г.А., Блинова А.В., и др. Электронно-микроскопические свойства нового противомикробного нанопрепарата на основе гидроксида меди-кальция. *Вестник Авиценны.* 2021;23(4):532-41]. doi: 10.25005/2074-0581-2021-23-4-532-541
13. Aminsobhani M, Bolhari B, Dorost B, et al. Measurement of Copper ion Extrusion from the Apex of Human Teeth with Single Canals Following of Electrophoresis. *Eur Endod J.* 2021;6(2):226-229. doi: 10.14744/eej.2020.61687
14. Lenzi TL, Guglielmi Cde A, Arana-Chavez VE, et al. Tubule density and diameter in coronal dentin from primary and permanent human teeth. *Microsc Microanal.* 2013;19(6):1445-1449. doi: 10.1017/S1431927613012725
15. Zablotskaya MV, Mitronin AV, Zablotskaya NV. Treatment of acute apical periodontitis using depoporesis and cold argon plasma. *Smolensk medical almanac.* 2018;1:109-112. (In Russ.). [Заблоцкая М.В., Митронин А.В., Заблоцкая Н.В. Лечение острого апикального периодонтита с применением метода депофореза и холодной аргонной плазмы. *Смоленский медицинский альманах.* 2018;1:109-112].

## ■ Автор для переписки

Бессуднова Александра Романовна  
Адрес: Тверской государственный медицинский университет,  
ул. Советская, 4, г. Тверь, Россия, 170100.

## ■ Corresponding Author

Aleksandra R. Bessudnova  
Address: Tver State Medical University,  
4 Sovietskaya st., Tver, Russia, 170100.

E-mail: bessudnova.aleksa@yandex.ru