

Верхневолжский медицинский журнал. 2025; 24(4): 26-29
Upper Volga Medical Journal. 2025; 24(4): 26-29
УДК 616.314-089.27-022.532-092.4

МОДИФИКАЦИЯ ПРОТРАВОЧНОГО ГЕЛЯ НАНОЧАСТИЦАМИ МАГНЕТИТА ПРИ АДГЕЗИВНОЙ ТЕХНИКЕ ПЛОМБИРОВАНИЯ ЗУБОВ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

¹Е. В. Заболева, ¹В. А. Румянцев, ¹А. В. Блинова, ²В. В. Битюков, ³Ю. И. Юсупова,
⁴Е. К. Тарасова

¹Кафедра пародонтологии,

²Кафедра стоматологии

ФГБОУ ВО Тверской ГМУ Минздрава России, г. Тверь, Россия,

³Клиника «Медлайф», г. Москва, Россия,

⁴Стоматологическая клиника «Росдент», г. Москва, Россия

Аннотация. При адгезивной технике пломбирования зубов композиционными материалами для усиления сцепления пломбы с тканями зуба используют их предварительное протравливание кислотными гелями. В лабораторном исследовании на 10 удаленных зубах сравнили действие на дентин стандартного протравочного геля, содержащего 37 % ортофосфорной кислоты и такого же геля, но модифицированного наночастицами магнетита (Fe_3O_4). С помощью электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа по уменьшению содержания углерода и азота выявлено, что микрокристаллы магнетита равномерно распределяются на поверхности дентина после протравливания, оказывая выраженное противомикробное действие. Это может способствовать профилактике вторичного кариеса зубов.

Ключевые слова: вторичный кариес зубов, адгезивная техника пломбирования, наночастицы магнетита

Для цитирования: Заболева Е.В., Румянцев В.А., Блинова А.В., Битюков В.В., Юсупова Ю.И., Тарасова Е.К. Модификация протравочного геля наночастицами магнетита при адгезивной технике пломбирования зубов (экспериментальное исследование). Верхневолжский медицинский журнал. 2025; 24(4): 26-29.

MODIFICATION OF THE ETCHING GEL WITH MAGNETITE NANOPARTICLES IN THE ADHESIVE SEALING TECHNIQUE TEETH (EXPERIMENTAL STUDY)

¹E. V. Zabolova, ¹V. A. Rumyantsev, ¹A. V. Blinova, ¹V. V. Bityukov, ²Yu. I. Yusupova,
³E. K. Tarasova

Tver State Medical University, Tver, Russia,

²«Medlife» Clinic, Moscow, Russia,

³Stomatology Clinic «Rosdent», Moscow, Russia,

Abstract. In the adhesive technique of filling teeth with composite materials, pre-etching with acid gels is used to enhance the adhesion of fillings to tooth tissues. A laboratory study on 10 extracted teeth compared the effects of a standard etching gel containing 37 % orthophosphoric acid and the same gel modified with magnetite nanoparticles (Fe_3O_4). Using electron microscopic and micro x-ray spectral analysis to reduce the carbon and nitrogen content, it was revealed that magnetite microcrystals are evenly distributed on the dentine surface after etching, exerting a pronounced antimicrobial effect. This can help prevent secondary dental caries.

Key words: secondary dental caries, adhesive sealing technique, magnetite nanoparticles

For citation: Zabolova E.V., Rumyantsev V.A., Blinova A.V., Bityukov V.V., Yusupova Yu.I., Tarasova E.K. Modification of etching gel with magnetite nanoparticles in the adhesive sealing technique teeth (experimental study). Upper Volga Medical Journal. 2025; 24(4): 26-29.

Введение

Вторичный кариес остается серьезной проблемой современной стоматологии. Под ним понимают появление очагов деминерализации твердых тканей зуба (эмали и дентина) вокруг ранее поставленной пломбы [1]. По причине вторичного кариеса приходится в лучшем случае повторно проводить лечение (перепломбировывать), а в худшем случае – проводить эндодонтическое лечение пульпита или апикального

периодонтита [2]. Такое повторное лечение спустя какое-то время требуется около 50 % всех запломбированных зубов. Как правило, кариозный процесс начинается по границе между пломбой и стенками сформированной врачом полости [3].

Современная адгезивная техника пломбирования композиционными материалами после механической обработки полости предполагает протравливание эмали и дентина стенок кислотным гелем для частич-

ной локальной деминерализации эмали (создания в ней пор), очищения и открытия устьев дентинных трубочек. В дальнейшем при нанесении адгезива он проникает в эти поры и трубочки, усиливая сцепление пломбы с твердыми тканями зуба.

Протравливающие гели содержат 37 % ортофосфорной кислоты. Их экспозиция на стенках сформированной полости составляет от 15 до 30 секунд, после чего гель смывается струей дистиллированной воды и полость высушивается воздухом. Во время экспозиции геля на поверхности дентина кислотой частично растворяется «смазанный» слой и происходит обнажение отверстий дентинных трубочек [4]. Кислота на поверхности зуба резко меняет осмотическое давление внутри трубочек, имеющих диаметр около 1 мкм. В результате дентинная жидкость вместе с содержащимися в ней белковыми продуктами и персистирующими на глубине до сотен микрометров микроорганизмами устремляется к поверхности, формируя на стенке полости (в интертубулярных пространствах) микробную биопленку. Именно она может являться причиной развития в дальнейшем вторичного и рецидивирующего кариеса. Поэтому актуальной задачей при использовании технологии кислотной протравки твердых тканей зуба остается надежная и длительная инактивация кариесогенной микрофлоры на поверхности стенок и дна полости перед нанесением адгезива [5]. Ранее в микробиологических исследованиях [6, 7] было показано, что наночастицы магнетита (Fe_3O_4) в сравнении с другими наночастицами металлов обладают наибольшей противомикробной активностью в отношении кариесогенных микроорганизмов. Поэтому мы выдвинули гипотезу о том, что добавление наночастиц магнетита в стандартный протравочный гель может предотвратить формирование микробной биопленки на поверхности сформированной полости при адгезивном пломбировании.

Целью исследования явилось сравнительное электронно-микроскопическое изучение действия обычного и модифицированного наночастицами магнетита протравочного геля на поверхность дентина зуба в лабораторном эксперименте.

Материал и методы исследования

Для модификации стандартного протравочного геля, содержащего 37 % ортофосфорной кислоты, электроэрозионным методом получали гидрозоль наночастиц магнетита (Fe_3O_4) со средним размером частиц дисперсной фазы от 0,5 до 3 нм. Этот гидрозоль добавили к стандартному протравочному гелю путем смешивания в пропорции 1:10.

В десяти ранее удаленных постоянных зубах разных групп (резцы, премоляры, моляры), произвольно разделенных по ровну на опытную и контрольную группы, а также имеющих кариозные полости в пределах

дентина, проводили традиционную механическую обработку этих полостей. Затем на стенки полостей на 30 секунд наносили протравочный гель: в зубах опытной группы – модифицированный наночастицами магнетита, а в зубах контрольной группы – без модификации. После этого гель смывали струей дистиллированной воды в течение 20 секунд и зубы раскалывали так, чтобы получились сколы, включавшие участки протравленного дентина. Дальнейшие исследования провели слепым методом: исследователь в лаборатории электронной микроскопии не знал, к какой группе зубов относится тот или иной скол.

Изучение сколов зубов провели с помощью сканирующей электронной микроскопии, совмещенной с микрорентгеноспектральным анализом с дисперсией по энергии на электронном микроскопе «Tescan, Vega 3SB» с энергодисперсионным анализатором «10mm² SDD Detector – X-Act». Статистическую обработку осуществили с помощью программного пакета «IBM SPSS Statistica 23», использовали критерий χ^2 .

Результаты исследования и их обсуждение

На сканоэлектроннограммах сколов зубов контрольной группы при разном увеличении после протравливания дентина стандартным кислотным гелем выявлены открытые отверстия дентинных трубочек и обильные напластования колоний микроорганизмов в интертубулярном пространстве (рисунке 1). При качественной механической обработке полости на ее стенках может оставаться только минимум микроорганизмов, содержащихся в «смазанном» слое. Выявленная нами микробная биопленка формируется в основном за счет того, что с током дентинной жидкости персистирующие в глубине дентинных трубочек микроорганизмы выходят на поверхность. Важно, что эта биопленка не смывается водой вместе с протравливающим гелем, а остается на поверхности дентина. В дальнейшем она может вновь колонизировать частично остающиеся открытыми после нанесения адгезива

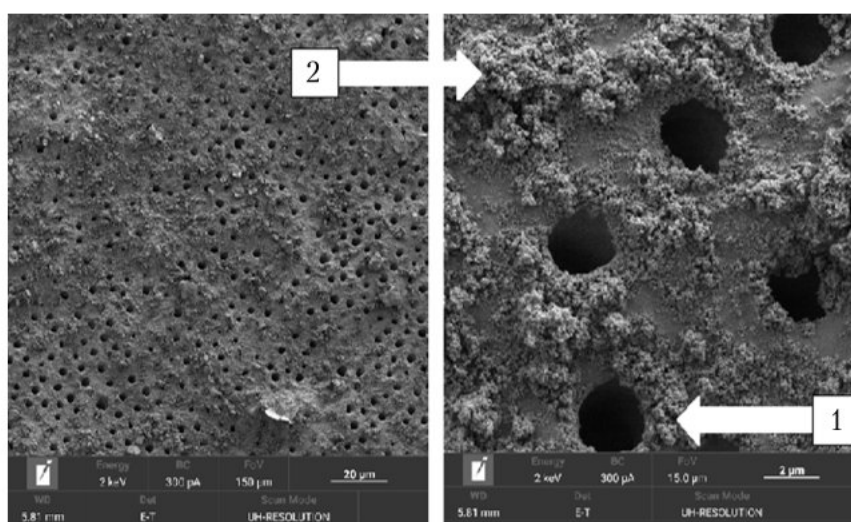


Рис. 1. Сканоэлектроннограммы сколов зубов в области стенки кариозной полости, обработанной стандартным протравочным гелем: 1 – отверстия дентинных трубочек; 2 – колонии микроорганизмов в интертубулярном пространстве

Fig. 1. Scanoelectronograms of chipped teeth in the area of the wall of the carious cavity treated with a standard etching gel: 1 – holes of the dentinal tubules; 2 – colonies of microorganisms in the intertubular space

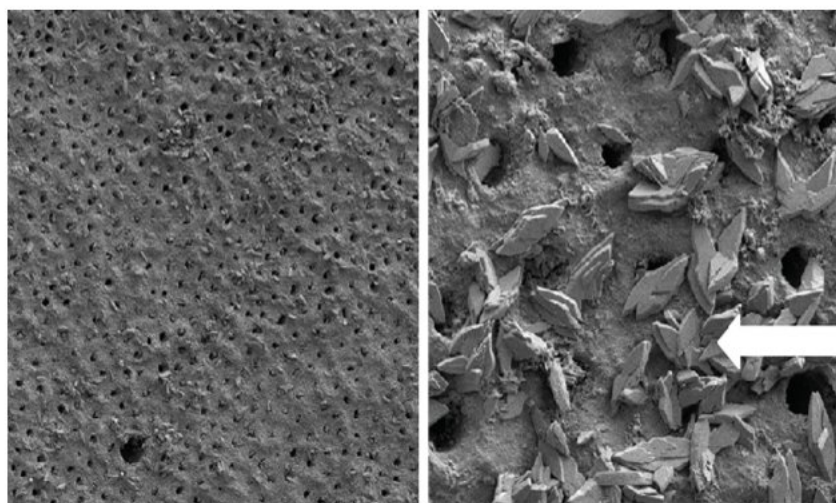


Рис. 2. Сканоэлектроннограммы сколов зубов в области стенки кариозной полости, обработанной модифицированным наночастицами магнетита протравочным гелем (стрелкой показаны кристаллы магнетита на поверхности дентина)

Fig. 2. Scanoelectronograms of chipped teeth in the area of the carious cavity wall treated with a pickling gel modified with magnetite nanoparticles (the arrow shows magnetite crystals on the dentine surface)

дентинные трубочки и с течением времени приводить к развитию вторичного кариеса.

На рисунке 2 представлены результаты сканирующей электронной микроскопии скола зуба из опытной группы, в которой протравливание дентинных стенок полости проводили модифицированным наночастицами магнетита кислотным гелем.

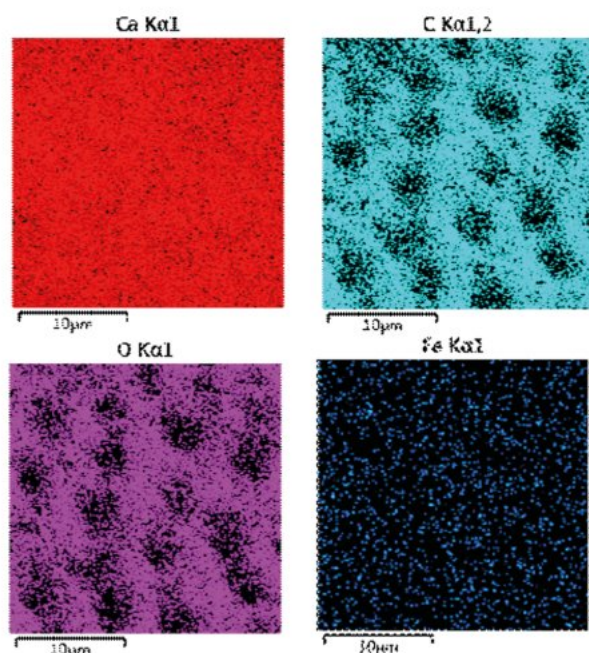


Рис. 3. Электронные карты распределения химических элементов на поверхности скола зуба после ее обработки модифицированным наночастицами магнетита протравочным гелем (кальций, углерод, кислород, железо)

Fig. 3. Electronic maps of the distribution of chemical elements on the surface of a chipped tooth after its treatment with a modified magnetite nanoparticles etching gel (calcium, carbon, oxygen, iron)

Оказалось, что в отличие от контрольных образцов, добавление в протравочный гель наночастиц приводит к формированию и задержке на поверхности

дентина зубов опытной группы микрокристаллов магнетита, что хорошо видно на сканоэлектроннограмме при большом увеличении. Эти микрокристаллы имеют ромбовидную форму и обильно покрывают поверхность, проникая, в том числе, и в отверстия дентинных трубочек. При этом обращает на себя внимание малое количество оставшихся микробных колоний.

Кроме того, при анализе распределения элементов на полученных с помощью микрорентгеноспектрального анализа картах (рисунок 3) было выявлено, что железо равномерно распределено по поверхности дентина, а его количество, как следует из суммарного спектра карты (рисунок 4), – существенно. При смывании протравочно-

го геля водой микрокристаллы магнетита остаются на поверхности дентина и в отверстиях дентинных трубочек, что можно объяснить высокоэнергетическим потенциалом этих наночастиц и образованных ими микрокристаллов, обуславливающим их выраженную адгезию к дентину. Такой эффект можно рассматривать как положительный, поскольку остающиеся микрокристаллы магнетита способны длительно оказывать выраженное противомикробное действие.

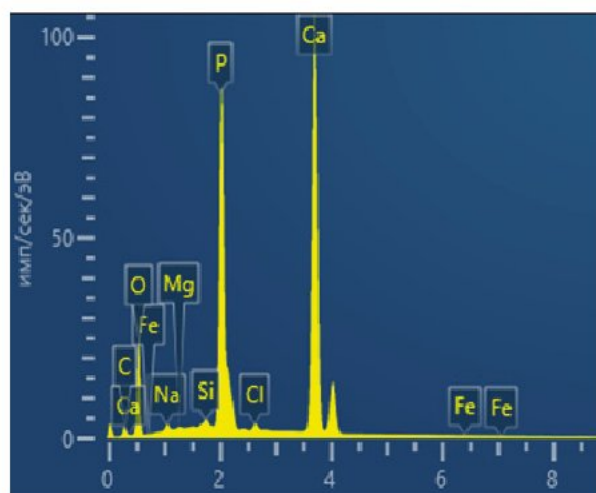


Рис. 4. Суммарный спектр карты распределения химических элементов на поверхности скола зуба, обработанного модифицированным наночастицами магнетита протравочным гелем

Fig. 4. The total spectrum of the distribution map of chemical elements on the surface of a chipped tooth treated with a modified magnetite nanoparticle etching gel

Сравнительный анализ цифровых данных, полученных при проведении микрорентгеноспектрального анализа сколов зубов опытной и контрольной групп, показал следующее.

Содержание железа, которое на поверхностях сколов полностью отсутствовало в контрольной группе, в опытной группе в среднем составило $0,03 \pm 0,022$ вес%

($n=5$, $p>0,05$) от всех определяемых элементов. При этом отмечено статистически значимое в опытной группе уменьшение в среднем на 34,85 вес% содержания на поверхностях сколов углерода ($p<0,01$) и на 11,32 % вес% азота ($p<0,05$). Этот факт подтверждает заметное уменьшение органики за счет подавления микробиоты, основным компонентом которой являются эти элементы. Незначительное, но весьма эффективное и, как мы полагаем, пролонгированное по своему противомикробному действию наличие на поверхности дентина микрокристаллов магнетита указывает на целесообразность модификации стандартного протравочного геля гидрозолею наночастиц этого соединения. Также следует принять во внимание, что железо, образующее молекулы магнетита, является эссенциальным элементом организма.

Заключение

Таким образом, проведенное исследование показало, что добавление к стандартному протравочному гелю, содержащему 37 % ортофосфорной кислоты, гидрозоля высокоэнергетических наночастиц магнетита (Fe_3O_4) размером 1-3 нм позволяет создать на протравленной поверхности дентина равномерное поле из микрокристаллов магнетита. Это способствует одномоментному устранению более чем на 1/3 органической массы микробной биопленки и обеспечивает в дальнейшем противомикробный эффект. Следовательно, такая модификация протравочного геля может способствовать профилактике вторичного кариеса при использовании адгезивной техники пломбирования [8].

Список источников

1. Albelasy E.H., Hamama H.H., Chew H.P., Montaser M., Mahmoud S.H. Secondary caries and marginal adaptation of ion-releasing versus resin composite restorations: a systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Sci Rep*. 2022; 12(1): 19244. doi: 10.1038/s41598-022-19622-6
2. Rumyantsev V.A., Frolov G.A., Karasnikov Ya.N., Andreev A.A., Abdukodirov A., Bessudnova A.R., Blinova A.V. Modification of glass ionomer filling material by metal nanoparticles and their compounds: effect on antimicrobial activity. *Bulletin of Stomatology and Maxillofacial Surgery*, 2024; 20(4): 20-27. doi: 10.58240/1829006X-2024.4-20
3. Ku J.C., Lam W.Y., Li K.Y., Hsung R.T., Chu C.H., Yu O.Y. Accuracy of detection methods for secondary caries around direct restorations: A systematic review and meta-analysis. *J Dent*. 2025; 153: 105541. doi: 10.1016/j.jdent.2024.105541
4. Заболева Е.В., Румянцев В.А., Бессуднова А.Р. Модифицированные нанопрепаратами протравочные системы для адгезивной техники пломбирования зубов: лабораторное исследование. *Тверской медицинский журнал*. 2024; 6:188-193.
5. Demarco F.F., Cenci M.S., Montagner A.F., de Lima V.P., Correa M.B., Moraes R.R., Opdam N.J.M. Longevity of composite restorations is definitely not only about materials. *Dent Mater*. 2023; 39(1): 1-12. doi: 10.1016/j.dental.2022.11.009
6. Заболева Е.В., Андреев А.А., Румянцев В.А. Возможности нанотехнологий в профилактике рецидивирующего кариеса зубов и пульпита. *Российская стоматология*. 2025; 18(1): 46-108. doi: 10.17116/rosstomat20251801146
7. Румянцев В.А., Андреев А.А., Фролов Г.А., Леонтьева А.В. Оценка антибактериальной активности полиалкенатного цемента, модифицированного металлосодержащими наночастицами. *Аспирантский вестник Поволжья*. 2025; 25(2): 52-55. doi: 10.35693/AVP678195
8. Бессуднова А.Р., Румянцев В.А., Блинова А.В., Заболева Е.В., Андреев А.А., Опешко В.В. Способ профилактики рецидива кариеса зубов, пульпита. Патент РФ № 2839223 Публ. 28.04.2025, бюл. 13. Заявка: 2024133792, 12.11.2024.

Румянцев Виталий Анатольевич (контактное лицо) – д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой пародонтологии ФГБОУ ВО Тверской ГМУ Минздрава России; 170100, Тверь, ул. Советская, д. 4; rumyantsev_v@tvngmu.ru

Поступила в редакцию / The article received 19.09.2025.

Принята к публикации / Was accepted for publication 09.12.2025.