

ВЫВОДЫ

Препарат «Купрал» (Humanchemie GmbH, Германия) в настоящем исследовании продемонстрировал более выигрышные электронно-микроскопические свойства: размер частиц, дисперсность препарата, отсутствие примесей – по сравнению с препаратом «Купродент» («Владмива», Россия).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Peters T. Depotphorese: Eine Lösung für den fast aussichtslosen endodontischen Patientenfall. // Zahn Mund Kiefer. – 2012; 28(4): 236-241.
2. Румянцев В.А., Федотова Т.А., Заблоцкая М.В. Новый метод комплексного лечения эндодонто-пародонтальных поражений с помощью наноимпрегнации и купрал-кюретажа // Тверской медицинский журнал. – 2018. – № 1. – С. 34-45.
3. Comparative safety evaluation of silica-based particles / Kettiger H., Sen Karaman D., Schiesser L. et al. // Toxicol in vitro. – 2015; 30(1): 355-363.
4. Comparative analysis of root dentin morphology and structure of human versus bovine primary teeth / Costa B.M., Iwamoto A.S., Puppini-Rontani R.M. et al. // Microsc Microanal. – 2015; 21(3): 689-694.
5. Comparative study of tubular diameter and quantity for human and bovine dentin at different depths / Lopes M.B., Sinhoreti M.A., Gonini Júnior A. et al. // Braz Dent J. – 2009; 20(4): 279-83.
6. Dutra-Correa M., Anauate-Netto C., Arana-Chavez V.E. Density and diameter of dentinal tubules in etched and non-etched bovine dentine examined by scanning electron microscopy // Arch Oral Biol. – 2007; 52(9): 850-855.

Сведения об авторах

А.Р. Бессуднова – аспирант кафедры пародонтологии

А.В. Блинова – аспирант кафедры пародонтологии

Г.А. Фролов – к.х.н., доцент кафедры физической химии

В.А. Румянцев – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой пародонтологии

Information about the authors

A. R. Bessudnova – post-graduate student

A.V. Blinova – post-graduate student

G.A. Frolov – Candidate of Sciences (Medicine), associate professor

V.A. Romyantsev – Doctor of Science (Medicine), professor

УДК: 616.314.163-08:620.3

**РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ СПИЛОВ
КОРНЕЙ ЗУБОВ, ОБРАБОТАННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ
НАНОИМПРЕГНАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Алиса Владимировна Блинова¹, Виталий Анатольевич Румянцев², Александра Романовна Бессуднова³

¹ФГБОУ ВО Тверской государственный медицинский университет Минздрава России, Тверь, Россия

blinova-alisa@mail.ru

Аннотация

Введение. Причина неудач эндодонтического лечения – микроорганизмы в глубине дентинных трубочек корня зуба, недоступные при механической и медикаментозной обработке корневых каналов зубов. **Целью исследования** является обоснование нового метода импрегнации системы корневых каналов зубов антибактериальным препаратом на основе гидроксокупрата кальция, гидрозоль наночастиц меди и её оксидов. **Материалы и методы.** Смешивали препарат Купрал® («Humanchemie GmbH») с гидрозолем наночастиц меди и её оксидов в соотношении 1:2. Шестьдесят удалённых зубов были разделены на 4 группы, по 15 зубов в каждой. Их корневые каналы обрабатывали четырьмя различными методами. С помощью рентгеновского аналитического микронзонда была проведена оценка диффузии наночастиц меди в дентин корней. **Результаты.** На глубине 50, 200 и 500 мкм от стенки корневых каналов различия между экспериментальными и контрольными группами были статистически значимы ($p < 0,001$). В точке максимального удаления медь наиболее часто регистрировалась в группах, где использовался новый метод импрегнации. **Обсуждение.** Ранее, в ходе электронно-микроскопических исследований было установлено явление образования композиций частиц гидроксокупрата кальция и наночастиц меди, оксида меди (I) и оксида меди (II). **Заключение.** Обоснован новый метод импрегнации пространств дентина корней зубов с применением гидроксокупрата кальция и гидрозоля наночастиц меди и её оксидов без использования физиотерапевтического воздействия. **Ключевые слова:** эндодонтическое лечение, наночастицы, медь, микробная биоплёнка

ELEMENTAL ANALYSIS OF TEETH ROOTS TREATED WITH NANOIMPREGNATION TECHNOLOGIES

Alisa V. Blinova, Vitalii A. Rumyantsev, Alexandra R. Bessudnova

Tver State Medical University, Tver, Russia

blinova-alisa@mail.ru

Abstract

Introduction. The main reason for the failures of endodontic treatment is microorganisms that persist in the depth of tooth root dentine tubules. **The aim of the study** was to investigate the new method of impregnation of the root canal system with an antibacterial drug based on calcium hydroxocuprate and copper nanoparticles hydrosol. **Materials and methods.** We mixed the Kupral® ("Humanchemie GmbH") and the copper nanoparticles hydrosol in a ratio of 1:2. Sixty removed teeth were

divided into 4 groups, 15 teeth in each. The root canals were treated with four different methods. Diffusion of nanoparticles was evaluated with an X-ray analytical microprobe. **Results.** At depths of 50, 200 and 500 microns the differences between the experimental and control groups were statistically significant ($p < 0.001$). At depth of 500 microns copper was most often detected in the experimental groups where a new method of impregnation was used. **Discussion.** An earlier electron microscopic study demonstrated the phenomenon consisting in the formation of calcium hydroxocuprate and copper nanoparticles compositions. **Conclusions.** The new method of impregnation of the tooth root dentine without any physiotherapy and electrophoresis may be clinically significant.

Keywords: endodontic treatment, nanoparticles, copper, microbial biofilm

ВВЕДЕНИЕ

Распространённость пульпита и апикального периодонтита у лиц в возрасте 18 – 70 лет составляет около 79,4%. Показатель успеха первичного эндодонтического лечения апикального периодонтита – 70,7%, при проведении повторного лечения удаётся добиться регенерации костной ткани в 65,2% случаев [1]. Причиной неудач являются микробные ассоциации, персистирующие в системе корневых каналов (СКК) зубов, включающей многочисленные дентинные трубочки (ДТ). Их диаметр составляет в среднем $3,45 \pm 0,30$ мкм, что препятствует проникновению в них антисептиков [2]. Бактериальную биоплёнку обнаруживают в дентине корня зуба на глубине 300 – 1000 мкм от внутренней стенки корневого канала (КК) [3]. Для решения проблемы необходима разработка способов пролонгированного противомикробного воздействия на все пространства СКК. Одной из удачных попыток её решения являются методики электрофоретической импрегнации СКК и ДТ корня зуба комплексным противомикробным препаратом – гидроксидом меди-кальция (ГМК, гидроксокупратом кальция, $\text{Ca}[\text{Cu}(\text{OH})_4]$). Однако известные сегодня методы применения этого препарата для достижения высокой клинической эффективности требуют дополнительного оборудования: источников электрического тока, гальванических штитовых элементов, – и предполагают, как минимум, три визита к врачу. Такое лечение может продолжаться 30 – 45 дней и дольше [4, 5].

Цель исследования – обосновать новый метод импрегнации системы корневых каналов зубов антибактериальным препаратом на основе гидроксида меди-кальция, гидрозоля наночастиц меди, оксида меди (I) и оксида меди (II) без использования дополнительных физиотерапевтических воздействий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании участвовал препарат ГМК Купрал[®] (Humanchemie GmbH, Германия). Гидрозоль наночастиц меди, оксида меди (I) и оксида меди (II) размерами 0,5-3 нм получали в лаборатории кафедры физической химии НИТУ «МИСиС» (Москва) методом конденсации низкотемпературной плазмы в

искровом разряде. Непосредственно перед применением Купрал® и гидрозоль смешивали в соотношении 1:2. В слепом клинико-лабораторном контролируемом исследовании участвовали 53 добровольца в возрасте от 42 до 65 лет, которым требовалось удаление 60 однокорневых зубов, не лечившихся ранее эндодонтически, по хирургическим, терапевтическим или ортодонтическим показаниям. Всем пациентам была предоставлена полная информация о проводимом исследовании, после чего подписывалось информированное добровольное согласие. Критерии невключения пациентов в исследование: необходимость удаления многокорневого зуба; облитерация корневых каналов по данным рентгенологического исследования; фрагментация и перелом корня зуба в ходе операции экстракции; отсутствие добровольного информированного согласия на проведение операции удаления зуба. Критерии исключения пациентов из исследования: отказ от дальнейшего участия в исследовании; возникновение в ходе операции удаления зуба осложнений.

Удалённые зубы произвольно с использованием условного кодирования были разделены на 4 группы по 15 зубов в каждой (таблица 1). После удаления зубы не обрабатывали антисептическими препаратами и хранили в стерильном 0,9% растворе хлорида натрия при температуре +4°C. Затем после создания полости доступа проводили механическую обработку КК. Медикаментозная обработка осуществлялась с помощью 3% раствора гипохлорита натрия. Было проведено 4 серии исследований с применением четырёх разных методик.

Таблица 1

Распределение обследованных пациентов по группам

| Группы пациентов | Методики | Число пациентов (n) | | Число удалённых зубов (n) |
|---------------------|----------|---------------------|---------|---------------------------|
| | | Мужчины | Женщины | |
| 1 Контрольная | 1 | 6 | 8 | 15 |
| 2 Контрольная | 2 | 9 | 6 | 15 |
| Экспериментальная 1 | 3 | 10 | 3 | 15 |
| Экспериментальная 2 | 4 | 7 | 4 | 15 |
| Всего | | 32 | 21 | 60 |

Первая методика. КК заполняли пастой на основе водной суспензии ГМК на 7 дней (контрольная группа 1).

Вторая методика. КК заполняли пастой на основе водной суспензии ГМК и затем осуществляли гальванофорез с помощью внутриканальных гальванических штитфов, внекорневая часть которых выполнена из цинка, а внутрикорневая – из меди. Продолжительность процедуры составляла 7 дней (контрольная группа 2).

Третья методика. КК заполняли пастой на основе суспензии ГМК, разведенной гидрозоле меди, оксида меди (I) и оксида меди (II) с массовой концентрацией дисперсной фазы $5,3 \times 10^{-3} \%$. Срок экспозиции пасты в КК – 7 дней (экспериментальная группа 1).

Четвёртая методика. КК заполняли пастой на основе суспензии ГМК, разведенной гидрозоле меди, оксида меди (I) и оксида меди (II) с массовой концентрацией дисперсной фазы $5,3 \times 10^{-3} \%$. Срок экспозиции пасты в КК – 14 дней (экспериментальная группа 2).

Полости доступа закрывали пломбами из стеклоиономерного цемента. Во второй контрольной группе зубов рядом с пломбой оставляли дренаж из хлопчатобумажной нити для обеспечения работы гальванического элемента. На протяжении срока экспозиции препаратов зубы находились в 0,9% растворе хлорида натрия, чтобы обеспечить осмотическое постоянство капиллярной системы дентина зубов. Поперечные спилы корней зубов толщиной 2 мм готовили с помощью тонких алмазных дисков. До получения окончательных результатов исследователь не знал, к какой группе относится тот или иной зуб.

С помощью рентгеновского аналитического микронзонда – микроскопа «РАМ 30-μ» и растрового электронного микроскопа «Tescan» (Vega 3SB) с энергодисперсионным анализатором была проведена оценка диффузии частиц дисперсной фазы ГМК, содержащей химический элемент – медь – в дентин корней зубов в четырёх точках: в маргинальном слое дентина корневого канала (~10 мкм от стенки КК), а также на глубине 50, 200 и 500 мкм. Для сбора, обработки и хранения полученной в ходе исследований информации была создана база данных в программе Microsoft Office Excel® (Microsoft Corporation, USA). Статистическую обработку результатов проводили с помощью программного пакета SPSS Statistics (IBM®, USA). Статистическую значимость различий между качественными переменными оценивали при помощи точного критерия Фишера (Fisher's exact test). Для оценки статистической значимости различий в распределениях переменных в сравниваемых группах использовали метод парного сравнения категорий с поправкой Sidak.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Статистически значимые ($p < 0,001$) отличия между группами были зарегистрированы, начиная с глубины 50 мкм (таблица 2). При обработке дентина по первой методике на глубине 50, 200 и 500 мкм медь, как химический элемент, не обнаруживалась. В точке, расположенной на глубине

200 мкм, медь обнаруживалась как в группе, где применялась методика гальванофореза, так и в группах, обработанных новым комплексным препаратом. Но статистически значимых различий между этими группами не выявлено. В точке максимального удаления от просвета КК медь наиболее часто регистрировали в экспериментальных группах. При этом отличия между 1-й и 2-й экспериментальными группами отсутствовали.

Таблица 2

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа спилов корней зубов, обработанных нанопрепаратами меди различными методами

| Группы | Медь обнаружена от стенки корневого канала на глубине: | | | | | | | |
|---------|--|-------------------|-------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------------|
| | 10 мкм | | 50 мкм | | 200 мкм | | 500 мкм | |
| | н ет | д а | н ет | д а | н ет | д а | н ет | д а |
| 1 | 2 (13,3%) | 1 3 (86,7%) | 1 0 (66,7%) | 5 а (33,3%) | 1 5 (100%) | 0 а (0,0%) | 1 5 (100%) | 0 а (0,0%) |
| 2 | 0 (0,0%) | 1 5 (100%) | 2 (13,3%) | 1 3 _b (86,7%) | 4 (26,7%) | 1 1 _b (73,3%) | 1 3 (86,7%) | 2 б (13,3%) |
| 3 | 0 (0,0%) | 1 5 (100%) | 0 (0,0%) | 1 5 _b (100%) | 2 (13,3%) | 1 3 _b (86,7%) | 5 (33,3%) | 1 0 _c (66,7%) |
| 4 | 0 (0,0%) | 1 5 (100%) | 0 (0,0%) | 1 5 _b (100%) | 3 (20,0%) | 1 2 _b (80,0%) | 6 (40,0%) | 9 с (60,0%) |
| p-value | 0,237 | | <0,001 | | <0,001 | | <0,001 | |

Примечание: наличие одинаковых буквенных индексов (а, b, с) в столбцах означает отсутствие статистически значимых различий между ячейками ($p > 0,05$)

ОБСУЖДЕНИЕ

На основе полученных данных можно заключить, что временное пломбирование КК смесью ГМК с гидрозолем наночастиц меди и её оксидов сроком на 7 дней может иметь клиническое значение. Эти результаты согласуются с проведенными ранее исследованиями. Так, нами было установлено явление образования композиций наночастиц ГМК при его разведении гидрозолем наночастиц меди, оксида меди (I) и оксида меди (II) [6]. Наночастицы дисперсной фазы размером 0,5-3 нм проникают внутрь поверхностного слоя частиц ГМК, что приводит к снижению когезии в агрегатах ГМК и уменьшению их размеров. Это, по-видимому, позволяет частицам более эффективно проникать в просвет ДТ. Кроме того, в ходе этого процесса частицы ГМК аккумулируют удельную поверхностную энергию более мелких частиц меди и её оксидов, а следовательно, становятся способны по градиенту концентрации проникать в дентин более глубоко и интенсивно.

Исследователи отмечают, что методы применения препаратов ГМК, не предполагающие сильных электромагнитных воздействий, проявляют более выраженную клиническую эффективность [7]. В первую очередь, это верно для гальванофореза ГМК (сила тока 0,1 мкА) по сравнению с депофорезом ГМК (сила тока около 1 мкА). В свою очередь, в ходе настоящего исследования показано, что при гальванофорезе частицы ГМК продвигаются по ДТ не на много глубже, чем при отсутствии электрофоретического воздействия.

ВЫВОДЫ

Применение препаратов ГМК с гидрозолем наночастиц меди, оксида меди (I) и оксида меди (II) может стать новым перспективным методом импрегнации СКК зубов высокоактивным антибактериальным препаратом. Такая технология может существенно повысить эффективность эндодонтического лечения пульпита и апикального периодонтита без применения дополнительных физиотерапевтических процедур и дорогостоящего оборудования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Prognosis of root canal treatment in teeth with preoperative apical periodontitis: a study with cone-beam computed tomography and digital periapical radiography / Restrepo-Restrepo F., Cañas-Jiménez S., Romero-Albarracín R. et al // Int Endod J. – 2019; 52(11): 1533-1546.
2. Comparative analysis of root dentin morphology and structure of human versus bovine primary teeth / Costa B., Iwamoto A., Puppini-Rontani R. et al. // Microsc Microanal. – 2015; 21(3): 689-694.

3. Ультраструктурная характеристика твердых тканей корня зуба при пульпитах. Феномен формирования в дентине инфицированных очагов деструкции / Фаустов Л. А., Леонтьев В. К., Попков В. Л. и др. // Актуальные проблемы медицины. – 2011. – Т. 15, № 16. – С. 16.
4. Саидова Л. А., Рамазонова Ш. Ш. К. Микробиологическая оценка эффективности применения депо- и апексфореза в комплексном лечении хронического верхушечного периодонтита // Молодой ученый. – 2019. – № 27. – С. 77-79.
5. Клинико-лабораторная оценка и обоснование способа гальванофореза гидроксида меди-кальция при эндодонтическом лечении апикального периодонтита / Румянцев В. А., Бордина Г. Е., Ольховская А. В. и др. // Стоматология. – 2015. – Т. 94, № 1. – С. 14-19.
6. Электронно-микроскопические свойства нового противомикробного нанопрепарата на основе гидроксида меди-кальция / Румянцев В. А., Фролов Г. А., Блинова А. В. и др. // Вестник Авиценны. – 2021. – Т. 23, № 4. – С. 532-541.
7. Заблочкая М. В., Митронин А. В., Заблочкая Н. В. Лечение острого апикального периодонтита с применением метода депофореза и холодной аргоновой плазмы // Смоленский медицинский альманах. – 2018. – № 1. – С. 109-112.

Сведения об авторах

А.В. Блинова – аспирант кафедры пародонтологии

В.А. Румянцев – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой пародонтологии

А.Р. Бессуднова – аспирант кафедры пародонтологии

Information about the authors

A.V. Blinova – post-graduate student

V.A. Rummyantsev – Doctor of Science (Medicine), professor

A. R. Bessudnova – post-graduate student

УДК: 616(31)

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РОТОВОЙ ЖИДКОСТИ МОЛОДЫХ ЛЮДЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗУБНЫХ ПАСТ ДВУХ НАИМЕНОВАНИЙ

Алина Сергеевна Босомыкина¹, Елена Юрьевна Ермишина², Татьяна Михайловна Еловицова³

^{1, 2, 3} ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет»

Минздрава России, Екатеринбург, Россия

¹ alin.bosomykina@mail.ru

Аннотация