

# Монохроматическая рентгеновская микротомография на синхротронном источнике в оценке глубины проникновения антисептического раствора наносеребра в дентин зуба

А.В. МИТРОНИН\*, д.м.н., профессор, зав. кафедрой  
Д.П. ВОЛКОВ\*, аспирант

Р.А. СЕНИН\*\*, канд. физ.-мат.наук, зам. начальника отдела синхротронных исследований ККСНИ  
А.А. ГОГИН\*\*, инженер-исследователь

\*Кафедра кариесологии и эндодонтии

ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава РФ

\*\*НИЦ «Курчатовский институт», Москва

## X-ray microtomography with monochromatic synchrotron radiation for evaluation of the penetration depth of nanosilver solution in tooth dentin

A.V. MITRONIN, D.P. VOLKOV, R.A. SENIN, A.A. GOGIN

### Резюме

Представлены результаты измерения глубины проникновения озвученного бактерицидного раствора наносеребра «Повиаргол» в дентинные каналы зуба. Исследования проводили методом монохроматической рентгеновской микротомографии на синхротронном источнике с критической энергией 7,1 кэВ. Показатели диффузии свидетельствуют о более глубоком проникновении активизированного ультразвуком раствора наносеребра в дентин, чем при свободной пенетрации. Монохроматическая рентгеновская микротомография на синхротронном источнике может быть эффективным методом анализа проникновения лекарственных препаратов неорганического происхождения в твердые ткани зуба.

**Ключевые слова:** эндодонтия, наносеребро «Повиаргол», рентгеновская микротомография.

### Abstract

The results of measuring the depth of penetration of the ultrasonicated bactericidal solution of nanosilver Poviargrol into Dentinal Tubules of the tooth are presented. Investigations were carried out using the method of monochromatic X-ray microtomography with synchrotron radiation source with a critical energy of 7.1 keV. The diffusion indices indicate a deeper penetration of the ultrasonic-activated solution of nanosilver into the dentin in comparison with free penetration. Monochromatic X-ray microtomography with synchrotron radiation source can be an effective method of analyzing the penetration of inorganic drugs into hard tooth tissues.

**Key words:** endodontics, nanosilver Poviargrol, X-ray microtomography.

Для повышения эффективности профилактики осложнений периодонтита предлагается проводить антисептическую обработку корневого канала зуба препаратами наносеребра, обеспечивающими длительное биоцидное ионное действие после его обтурации [1, 11, 12, 14, 15]. Интерес представляет дезинфекция канала корня зуба водным раствором наносеребра «Повиаргол» (производитель «Технолог СКТБ ФГУП», Россия), который удовлетворяет также требованиям безвредности для периапикальных тканей, не обладает сенсibiliзирующим действием и не вызывает появления резистентных форм микроорганизмов [2, 3, 6].

Эффективность применения раствора наносеребра зависит от глубины его проникновения в инфициро-

ванные дентинные каналы. Ионы серебра, выделяющиеся с поверхности наночастиц, быстро инактивируются в тканях дентинных трубочек, поэтому максимальный биоцидный эффект достигается непосредственным контактом наночастиц с микроорганизмами, при котором максимальное количество ионов серебра проникают через внешние оболочки бактерий и вызывают их гибель [4, 5, 7]. При недостаточном проникновении наночастиц в дентинные каналы ионы серебра не способны достигнуть удаленных очагов инфекции, что повышает риск рецидива заболевания.

В большинстве исследований предлагается введение препарата наносеребра в дентин зуба в виде геля [15] или водного раствора свободной пенетрацией

[11], обеспечивающей проникновение наносеребра до 100 мкм, в то время как микроорганизмы способны проникать в дентин на 1000 мкм и более [8, 13, 14]. Для увеличения диффузии наносеребра предложено вводить раствор «Повиаргола» в дентин с помощью ультразвука [1, 3]. Однако для определения оптимальных параметров мощности и времени проведения этой процедуры требуется анализ глубины проникновения высокодисперсных частиц наносеребра с размерами 4-20 нм в твердые ткани зубов, который крайне затруднен в связи с малой чувствительностью обычной рентгенологической техники.

### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Провести оценку глубины проникновения антисептического раствора наносеребра «Повиаргол» в дентин зуба при различных режимах озвучивания с помощью монохроматической рентгеновской микро-томографии на синхротронном источнике.

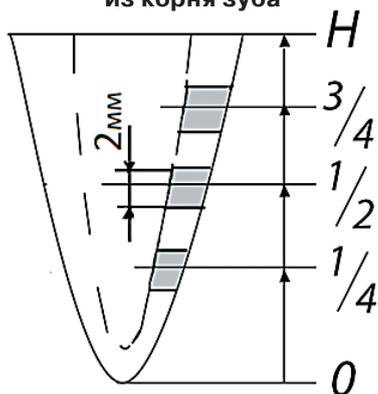
### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование глубины проникновения раствора наносеребра L в дентин проводили на 15 удаленных человеческих однокорневых резцах с прямыми каналами. Непосредственно перед ультразвуковой процедурой проводилась традиционная антисептическая обработка корневого канала каждого зуба с целью максимально полной очистки входных отверстий дентинных канальцев и для обеспечения свободного проникновения водного раствора наносеребра внутрь дентинных трубочек. Канал с помощью эндодонтического шприца наполняли 2,5% водным раствором «Повиаргола», в канал вводили ультразвуковую насадку прибора Piezon Master 700 (производитель EMS, Швейцария), оставляя зазор 1,5 мм до апикального отверстия, и осуществляли непрерывное озвучивание раствора в соответствии с пятью режимами изменения мощности W (0,6; 1,2; 1,8; 2,4; 3,0 Вт) и постоянного времени озвучивания  $t = 60$  сек.

Исследование глубины проникновения раствора наносеребра в дентин осуществлялось на основании изучения объемных образцов с размерами 2 x 2 x 2 мм, которые выпиливались из стенки корня на уровнях 1/4, 1/2 и 3/4 его длины H согласно схеме, приведенной на рисунке 1.

Диффузия наносеребра в дентин определялась на основании изучения компьютерных микро-томографических изображений этих образцов, полученных на станции РТ-МТ (рентгеновской топографии и микро-томографии), подключенной к каналу мегаустановки

Рис. 1. Схема выпиливания объемных элементов из корня зуба



Курчатовский специализированный источник синхротронного излучения «КИСИ – Курчатов» (рис. 2).

В основу физического исследования положен рентгеновский сверхчувствительный анализ присутствия нановеществ в биологических структурах, выявляемых при прохождении через них нейтронного излучения [9, 10]. Координатный столик (1) обеспечивает вращение образца (2) вокруг своей оси, при этом производится многократное сканирование образца ПЗС матрицей (4) с последующей фиксацией снимков на компьютере. В результате математической обработки полученного материала моделируется компьютерное объемное изображение исследуемого образца, отображающее его внутреннюю структуру.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

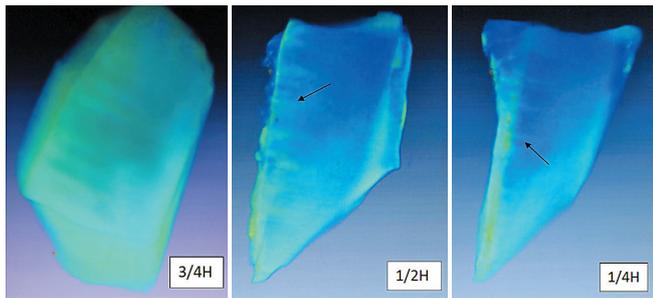
Всего в эксперименте было проведено томографическое исследование 45 объемных элементов корней зубов, полученных после проведения ультразвуковой процедуры. Примеры микро-томографических изображений образцов представлены на рисунке 3.

На элементах со стороны внутрикорневой поверхности видно проникновение раствора наносеребра в структуру дентина, которое на изображениях имеет вид горизонтальных следов.

Рис. 2. Общий вид станции РТ-МТ, К. 1.6.  
1 — координатный столик, 2 — образец,  
3 — конвектор, 4 — ПЗС матрица



Рис. 3. Пример микрофотографической фотографии объемного элемента корня зуба с диффузией в него наносеребра (показано стрелкой)



Глубину проникновения наносеребра в дентин  $L$  определяли по формуле

$$L = (I_0 \times I_d) / I_w, \text{ мкм,}$$

где  $I_0$  – реальная ширина объемного элемента;

$I_w$  – ширина объемного элемента на изображении;

$I_d$  – максимальная длина дентинных канальцев со следами наносеребра на изображении.

Анализ экспериментальных замеров глубины проникновения наносеребра в дентин для пяти режимов проведения ультразвуковой процедуры выявил оптимальное значение мощности и времени озвучивания раствора наносеребра ( $W = 1,8$  Вт;  $t = 60$  сек.), обеспечивающее максимальное значение параметра  $L$ . Для этого режима получена зависимость глубины проникновения наносеребра в дентин  $L$  от длины корня зуба  $H$  (рис. 4).

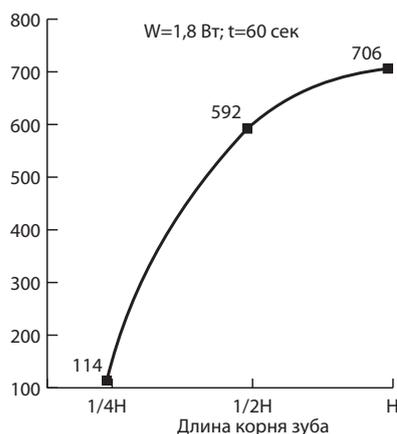
Из графика видно увеличение глубины проникновения наносеребра  $L$  с увеличением высоты корня т. е.  $LH > L1/2H > L1/4H$ , что связано с уменьшением количества дентинных канальцев и сокращением их длины к верхушке корня.

### Выводы

В результате проведенных микрофотографических исследований выявлена диффузия водного раствора наносеребра «Повиаргол» в дентин после проведения ультразвуковой процедуры, причем максимальная глубина проникновения наносеребра у коронковой части корня зуба составляет 706 мкм и достигается при оптимальных значениях мощности и времени озвучивания  $W = 1,8$  Вт,  $t = 60$  сек.

Таким образом, применение ультразвукового способа введения водного раствора наносеребра «По-

Рис. 4. График зависимости глубины проникновения наносеребра  $L$  от длины корня зуба  $H$  при микрофотографическом методе исследования



виаргол» в корневое пространство зуба позволило в среднем в пять раз увеличить глубину проникновения наносеребра в дентин по сравнению со способом введения раствора наносеребра свободной пенетрацией, что существенно улучшает антисептическую обработку корневых каналов зубов, а, следовательно, повышает эффективность эндодонтического лечения хронического периодонтита.

Применение метода монохроматической рентгеновской микрофотографии на синхротронном источнике может быть эффективным методом анализа проникновения лекарственных препаратов неорганического происхождения в твердые ткани зуба.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Митронин А. В., Волков Д. П. Исследование диффузии озвученного антисептического водного раствора наносеребра в дентин зуба // Эндодонтия today. 2017. №2. С. 4-6.
2. Mitronin A. V., Volkov D. P. Issledovanie diffuzii ozvuchennogo antisepticheskogo vodnogo rastvora nanoserebra v dentin zuby // Endodontiya today. 2017. №2. S. 4-6.
3. Волков Д. П., Митронин А. В. К вопросу о профилактике осложнений эндодонтического лечения апикального периодонтита // Dental forum. 2015. №4 (59). С. 19-20.
4. Volkov D. P., Mitronin A. V. K voprosu o profilaktike oslozhnenij ehndodonticheskogo lecheniya apikal'nogo periodontita // Dental forum. 2015. №4 (59). S. 19-20.
5. Волков Д. П. Способ дезинфекции корневого канала зуба озвученным водным раствором наносеребра-эндонанопорезом // Стоматология. 2016. №3. С. 67.
6. Volkov D. P. Sposob dezinfekcii kornevogo kanala zuba ozvuchennym vodnym rastvorom nanoserebra-ehndonanoforezom // Stomatologiya. 2016. №3. S. 67.
7. Хмель И. А., Кокшарова О. А., Радциг И. А. Антибактериальные эффекты ионов серебра: влияние на рост грамотрицательных бактерий и образование биопленок // Молекулярная генетика, микробиология и вирусология. 2009. №4. С. 27-31.
8. Hmel' I. A., Koksharova O. A., Radcig I. A. Antibakterial'nye ehffekty ionov serebra: vliyanie na rost gramotricatel'nyh bakterij i obrazovanie bioplenok // Molekulyarnaya genetika, mikrobiologiya i virusologiya. 2009. №4. S. 27-31.
9. Сосенкова Л. С., Егорова Е. М. Наночастицы серебра малого размера для исследований биологических эффектов // Журнал физической химии. 2011. Т. 85. №2. С. 317-326.
10. Sosenkova L. S., Egorova E. M. Nanochasticy serebra malogo razmera dlya issledovanij biologicheskikh ehffektov // Zhurnal fizicheskoy himii. 2011. T. 85. №2. S. 317-326.
11. Суетенков Д. Е. Применение повиаргола в комплексном лечении флегмон челюстно-лицевой области: Автореф. дис ... канд. мед. наук. – Саратов, 2000. – 23 с.
12. Suetenkov D. E. Primenenie poviargola v kompleksnom lechenii flegmon chelyustno-licevoj oblasti: Avtoref. dis ... kand. med. nauk. – Saratov, 2000. – 23 s.
13. Терещенко В. П., Картель Т. Н. Медико-биологические эффекты наночастиц: реалии и прогнозы. Монография – Киев: Наукова думка, 2010. – 240 с.

Tereshchenko V. P., Kartel' T. N. Mediko-biologicheskie ehffekty nanochastic: realii i prognozy. Monografiya – Kiev: Naukova dumka, 2010. – 240 s.

8. Робустова Т. Г., Митронин А. В. Хронический апикальный периодонтит, причинно-следственная связь очагов инфекции с сопутствующими заболеваниями // Рос. стоматол. журн. 2007. №1. С. 38.

Robustova T.G., Mitronin A.V. Hronicheskiy apikal'nyy periodontit, prichinno-sledstvennaya svyaz' ochagov infekcii s soputstvuyushchimi zabolevaniyami // Ros. stomatol. zhurn. 2007. №1. S. 38.

9. Сенин Р. А., Хлебников А.С. Станция «рентгеновская топография и микротомография» курчатовского источника синхротронного излучения. Примеры реконструкций биологических и небиологических образцов / Материалы I всероссийской научной конференции «Практическая микротомография» 28-30 ноября 2012 г., г. Казань. – С. 148-152.

Senin R. A., Hlebnikov A.S. Stanciya «rentgenovskaya topografiya i mikrotomografiya» kurchatovskogo istochnika sinhrotronnogo izlucheniya. Primery rekonstrukcij biologicheskikh i nebiologicheskikh obrazcov / Material I vserossijskoj nauchnoj konferencii «Prakticheskaya mikrotomografiya» 28-30 noyabrya 2012g., g. Kazan'. – S.148-152.

10. Якушина О. А., Ожогина Е. Г., Хозяинов М. С. Рентгеновская вычислительная микротомография – неразрушающий метод структурного и фазового анализа // Мир измерений. 2003. №10 (32). С. 12-17.

Yakushina O. A., Ozhogina E. G., Hozyainov M. S. Rentgenovskaya vychislitel'naya mikrotomografiya – nerazrushayushchij metod strukturnogo i fazovogo analiza // Mir izmerenij. 2003. №10 (32). S. 12-17.

11. Пат. 26224 А Украина, А 61С 5/00 Способ дезинфекции корневого канала зуба / А.Я. Барияк, Я.В. Бобицкий, И. Верниш, Е. Винтнер, и др.; опубл. 27.08.07, «Помислова вланість», бюл. №13.

Pat. 26224 A Ukraina, A 61S 5/00 Sposob dezinfekcii kornevogo kanala zuba / A.Ya. Bariyak, Ya.V. Bobickij, I. Vernish, E. Vintner, i dr.; opubl. 27.08.07, «Pomislova vlanist», byul. №13.

12. Fan W., Wu Y., Ma T., Li Y., Fan B. Substantivity of Ag–Ca–Si mesoporous nanoparticles on dentin and its ability to inhibit Enterococcus faecalis // Journal of Materials Science: Materials in Medicine. 2016. №27. P.16.

13. Moritz A., Beer F., Goharkhay K., Schoop U., Strassl M. et al. Orale Lasertherapie. – B.: Quintessenz Verlags-GmbH. 2006. – 501 p.

14. Wu D., Fan W., Kishen A. Evaluation of the antibacterial efficacy of silver nanoparticles against Enterococcus faecalis biofilm / D. Wu, W. Fan, A. Kishen // J Endod. – 2014. – № 40(2). – P. 285–290.

15. Kawashita M., Tsuneyama S., Miyaji F., Kokubo T., Kozuka H., Ya-mamoto K. Antibacterial silver-containing silica glass prepared by sol-gel method // Biomaterials. 2000. №21 (4). P. 393-398.

**Поступила 12.07.2017**

Координаты для связи с авторами:

127006, г. Москва, ул. Долгоруковская, д. 4

## ВСЕ ДЛЯ ДЕНТАЛЬНОЙ ФОТОГРАФИИ

зеркала, контрасторы и другие аксессуары в интернет-магазине

тел.: 8 800 200 6131, e-mail: [sale@stomprom.ru](mailto:sale@stomprom.ru), [www.stomprom.ru](http://www.stomprom.ru)

