

DOI: <https://doi.org/10.17816/dent622976>

Экспериментальное исследование антибактериального действия анодного растворения медного электрода, применяемого при эндодонтическом лечении зубов

А.В. Царёв¹, Н.Ж. Дикопова², Е.В. Ипполитов³, А.Г. Волков², С.Н. Разумова¹, М.С. Подпорин³, Т.В. Будина²

¹ Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия;

² Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский университет), Москва, Россия;

³ Российский университет медицины, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Одним из возможных путей повышения качества лечения зубов с облитерированными корневыми каналами является применение трансканальных воздействий постоянным током.

Цель исследования — изучить сравнительную антибактериальную активность анодного растворения медных и серебряно-медных электродов, применяемых при эндодонтическом лечении зубов, в эксперименте.

Методы. Экспериментальное исследование выполнено с помощью методики автоматического культивирования микроорганизмов в жидких питательных средах. Использовали клинические изоляты отдельных штаммов бактерий и дрожжевых грибов (*S. constellatus*, *P. intermedia*, *C. albicans*) и смешанные культуры: 1) *S. constellatus* + *F. nucleatum*; 2) *Streptococcus sanguis* + *Enterococcus faecium*, полученные из корневых каналов зубов при лечении хронических форм пульпита.

Результаты. Анодное растворение как серебряно-медных, так и медных электродов обладает выраженным и в целом однонаправленным антибактериальным действием. При этом обнаружено, что если в отношении клинического изолята *P. intermedia* более эффективным является использование серебряно-медного электрода, то в отношении штаммов *S. constellatus*, *C. albicans*, а также смешанных культур патогенных микроорганизмов (*S. constellatus* + *F. nucleatum* и *S. sanguis* + *E. faecium*) более выраженный антибактериальный эффект показывает анодное растворение медного электрода.

Заключение. При эндодонтическом лечении зубов с частично облитерированными корневыми каналами наряду с анодным растворением серебряно-медных электродов можно использовать анодное растворение медных электродов как средство, способное оказать выраженное антибактериальное действие.

Ключевые слова: трансканальные воздействия постоянным током; апекс-форез; анодное растворение электрода; антибактериальная эффективность.

Как цитировать:

Царёв А.В., Дикопова Н.Ж., Ипполитов Е.В., Волков А.Г., Разумова С.Н., Подпорин М.С., Будина Т.В. Экспериментальное исследование антибактериального действия анодного растворения медного электрода, применяемого при эндодонтическом лечении зубов // Российский стоматологический журнал. 2024. Т. 28, № 1. С. XX–XX. DOI: <https://doi.org/10.17816/dent622976>

DOI: <https://doi.org/10.17816/dent622976>

Experimental study of the antibacterial effect of anodic dissolution of a copper electrode used in endodontic treatment of teeth

Andrei V. Tsarev¹, Natalya Zh. Dikopova², Evgeniy V. Ippolitov³, Alexander G. Volkov², Svetlana N. Razumova¹, Mikhail S. Podporin³, Tatiana V. Budina²

¹ Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia;

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia;

³ Russian University of Medicine, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: One of the possible ways to improve the quality of dental treatment with obliterated root canals is the use of transcanal direct current exposure.

AIM: The aim of the study was to investigate the comparative antibacterial activity of anodic dissolution of copper and silver-copper electrodes used in the endodontic treatment of teeth in the experiment.

MATERIALS AND METHODS: An experimental study was performed by implementing a technique for the automatic cultivation of microorganisms in liquid culture media. We used for the study clinical isolates of individual strains of bacteria and yeasts, namely: *S. constellatus*, *P. intermedia*, *C. albicans*, as well as mixed cultures: 1) *S. constellatus* + *F. nucleatum*; 2) *Streptococcus sanguis* + *Enterococcus faecium* obtained from the root canals of the teeth during treatment of chronic pulpitis.

RESULTS: The results of the study showed that anodic dissolution of both silver-copper and copper electrodes had a significant and, in general, unidirectional antibacterial effect. At the same time, it was found that, if for clinical isolate of *P. intermedia* the use of a silver-copper electrode was more effective, then for *S. constellatus* and *C. Albicans* strains, as well as for mixed cultures of pathogenic microorganisms *S. constellatus* + *F. nucleatum* and *Streptococcus sanguis* + *Enterococcus faecium* anodic dissolution of a copper electrode showed a more pronounced antibacterial effect.

CONCLUSION: In endodontic treatment of teeth with partially obliterated root canals, along with anodic dissolution of silver-copper electrodes, it is possible to use anodic dissolution of copper electrodes as a means capable of having a pronounced antibacterial effect.

Keywords: transcanal treatment with direct current; apex-phoresis; anodic electrode dissolution; antibacterial efficiency.

To cite this article:

Tsarev AV, Dikopova NZh, Ippolitov EV, Volkov AG, Razumova SN, Podporin MS, Budina TV. *Russian Journal of Dentistry*. 2024;28(1):XX-XX.

DOI: <https://doi.org/10.17816/dent622976>

ОБОСНОВАНИЕ

Эндодонтическое лечение зубов с облитерированными корневыми каналами — довольно сложная процедура [1–3]. На сегодняшний день интерес к дополнительным средствам доставки дезинфицирующих средств в систему корневого канала очень велик. Эффективное лечение эндодонтических микробных инфекций по-прежнему является проблемным, так как эти инфекции опосредованы биоплёнками и очень устойчивы к традиционным методам лечения. Биомеханическая подготовка и химические ирриганты не могут полностью уничтожить биоплёнку из-за анатомического строения системы корневых каналов. Инструменты, используемые для биомеханической подготовки, и растворы ирригантов не способны проникать в узкую и самую глубокую часть этих каналов, особенно в апикальную треть. Кроме того, помимо поверхности дентина, биоплёнки могут также образовываться в дентинных канальцах и периапикальных тканях, что также снижает эффективность лечения. Одним из возможных путей повышения качества лечения зубов с облитерированными корневыми каналами может служить применение трансканальных воздействий постоянным током [4–6]. Антибактериальный эффект подобных процедур при использовании металлических электродов, подключённых к плюсу источника тока, связан с анодным растворением того металла, из которого изготовлен электрод [7–9]. Доказана высокая антибактериальная эффективность серебряно-медных электродов, применяемых при апекс-форезе [10]. Однако для насыщения околоверхушечной части корня зуба и апикальной дельты соединениями серебра и меди при апекс-форезе корневого канала должен быть пройден и расширен не менее чем на половину длины корня зуба.

Наряду с серебряно-медными электродами при проведении данной процедуры могут быть использованы электроды, изготовленные из других металлов, например медные [11]. Глубина проникновения в дентинные канальцы соединений меди в эксперименте [12] натолкнула на идею применения медных электродов с целью дезинфекции корневых каналов зубов, облитерированных более чем на половину длины корня. В связи с этим большой научный и практический интерес представляет изучение антибактериальной эффективности анодного растворения медных электродов.

Цель исследования — изучить сравнительную антибактериальную активность анодного растворения медных и серебряно-медных электродов, применяемых при эндодонтическом лечении зубов в эксперименте, в отношении микробиоты, выделенной из корневых каналов зубов при лечении хронического пульпита.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Простое, неослепленное экспериментальное исследование антибактериальной активности анодного растворения медных электродов, применяемых при эндодонтическом лечении зубов, проводили с помощью методики автоматического культивирования микроорганизмов в жидких питательных средах. Использовали клинические изоляты отдельных штаммов бактерий и дрожжевых грибов (*Streptococcus constellatus*, *Prevotella intermedia*, *Candida albicans*) и смешанные культуры: 1) *Streptococcus constellatus* + *Fusobacterium nucleatum*; 2) *Streptococcus sanguis* + *Enterococcus faecium*, полученные из корневых каналов зубов при лечении хронических форм пульпита.

Условия проведения

Культивирование микроорганизмов выполняли в биореакторе с интерактивной опцией контроля роста микроорганизмов — «Реверс-Спиннер RTS-1» (BioSan, Латвия). Для интерпретации результатов автоматически измеряли оптическую плотность (OD) при $\lambda=850$ нм. Результат интерпретировали в единицах мутности по МакФарланд.

Для культивирования микроорганизмов в биореакторе использовали набор жидких питательных сред производства HiMedia Laboratories Pvt. Limited (Индия).

Отдельно для каждого эксперимента в стерильных пробирках объемом 5 мл готовили бактериальную взвесь в общем количестве 4 мл. OD полученной взвеси измеряли с помощью денситометра DEN-1B (BioSan, Латвия), и для всех образцов она составляла $0,5 \pm 0,3$ ЕД Мсф, что в пересчёте на КОЕ — $1,5 \times 10^8$ в 1 мл.

При постановке каждого эксперимента проводили культивирование в нескольких разных параллелях.

Для культивирования микроорганизмов в биореакторе использовали центрифужные пробирки объемом 50 мл, в которые помещали 20 мл питательной среды и 1 мл микробной взвеси.

Для исследования антибактериальной активности анодного растворения серебряно-медного электрода в пробирку помещали 2 серебряно-медных электрода, используемых при апекс-форезе. Один из электродов, который был зачищен от изоляции на 2 мм от торцевой поверхности, располагали на дне пробирки. Этот электрод подключали к «+» источника тока. Второй электрод, зачищенный от изоляции на 1 см от торца электрода, размещали в верхней части пробирки так, чтобы очищенная от изоляции часть была полностью погружена в питательную среду с микроорганизмами. Данный электрод подключали к «-» источника тока.

Для изучения антибактериальной активности анодного растворения медного электрода в пробирку помещали 2 медных электрода, которые зачищали от изоляции

и подключали к источнику тока таким же образом, как и при изучении эффективности анодного растворения серебряно-медного электрода.

В качестве источника постоянного тока использовали аппарат «Поток-1» («Завод ЭМА», Россия).

Количество электричества при анодном растворении серебряно-медных и медных электродов составляло 5 мА × мин.

После проведения анодного растворения электроды удаляли из пробирок, а исследуемые пробирки помещали в биореатор.

Для каждого эксперимента с помощью ридера на экране дисплея компьютера и в печатном виде строили кривые роста бактериальных и грибковых популяций с регистрацией точек изменения OD в единицах по оптическому стандарту МакФарлейна (ЕД Mсf), что пересчитывалось на количество микробных клеток в 1 мл (например, 10^8 КОЕ/мл).

Статистический анализ

Результаты обрабатывали методом вариационной статистики (погрешность при регистрации оптического показателя составляла $\pm 0,3$ Umcf.).

Результаты экспериментального исследования

При культивировании исследуемой культуры *S. constellatus* после анодного растворения серебряно-медного электрода (Ag + Cu) в одной пробе и анодного растворения медного электрода (Cu) в другой пробе отмечена статистически значимая задержка начала экспоненциального развития клеток в обоих образцах (до 6-го и 8-го часа культивирования соответственно).

Периоды интенсивности генеративной активности не имели между собой тенденциозных различий, однако скорость увеличения бактериальной биомассы была ниже, чем в контрольном образце, что отражалось на построении кривой развития. Достижение основных ключевых точек развития при проведении культивирования имело при этом ряд различий: в отношении образца, где было проведено анодное растворение серебряно-медного электрода (Ag + Cu), прослеживалось наличие показателя α (14-й час) — $2,23 \pm 0,30$ Umcf — и показателя β (16-й час) — $2,76 \pm 0,30$ Umcf; в образце, где было проведено анодное растворение медного электрода (Cu), отмечалось наличие только M-концентрации при культивировании — показателя β (18-й час) — $2,32 \pm 0,30$ Umcf. Существенного снижения скорости логарифмического развития в отрезке P-2 и формирования при этом периодового дробления с последующей регистрацией показателя α не наблюдалось. В обоих случаях отмечено статистически значимое снижение показателей OD по отношению к контрольному образцу (средний показатель OD в стационарной фазе культивирования): для образца Ag + Cu — на 55,66%, для образца Cu — на 63,64%. Между собой образцы также отличались разницей значений ключевых показателей

OD и в пролонгации адаптивной фазы, что было более выражено при воздействии с использованием медного электрода.

По результатам культивирования клинического изолята *P. intermedia* после анодного растворения серебряно-медного электрода (Ag + Cu) в одной пробе и анодного растворения медного электрода (Cu) в другой пробе отмечали антибактериальный эффект в обоих исследуемых образцах.

При этом присутствовала разница в тенденции первоначального развития клеточных культур: при воздействии Cu первоначальное изменение OD было отмечено уже с 6-го часа эксперимента (раньше контрольного образца на 2 ч), начальные этапы микробного развития не имели чётких границ относительно экспоненциального скачка, который в свою очередь был неинтенсивным и незначительным. Показатель α для образца Cu (14-й час) — $1,22 \pm 0,30$ Umcf (снижение относительно контроля на 68,6%), показатель β (16-й час) — $1,32 \pm 0,30$ Umcf (снижение относительно контроля на 69,44%).

Особо стоит отметить незначительное время продолжительности регистрации данных основных периодов увеличения биомассы культуры. Образец Ag + Cu продемонстрировал значительную пролонгацию лаг-положения культуры, которая была выше в 2 раза в сравнении с образцом Cu и в 1,5 раза — по сравнению с контрольным образцом. Характерный период ускоренного развития бактериальных клеток (12–16-й час) чётко просматривался на фоне последующего логарифмического подъёма OD, при этом скорость изменения оптического числа в периоде P-2 была существенно ниже относительно контрольной пробирки, что свидетельствует о более низкой скорости развития клеточных агентов. Показатели α и β были зарегистрированы в одной точке (20-й час) по причине отсутствия периода отрицательного ускорения. Оптическое значения при M-концентрации для образца Ag + Cu (20-й час) составляло $1,89 \pm 0,3$ Umcf (снижение относительно контроля на 56,25%). Стационарная фаза развития популяции характеризовалась длительностью в сравнении со всеми образцами культивирования, с наличием небольшого колебания OD, которое не являлась статистически значимым. Средний показатель OD в периоде P-4 — $1,99 \pm 0,3$ Umcf (20–28-й час).

При культивировании исследуемой культуры *C. albicans* после анодного растворения серебряно-медного электрода (Ag + Cu) в одной пробе и анодного растворения медного электрода (Cu) в другой пробе в обоих образцах отмечался выраженный антибактериальный эффект по сравнению с контрольным.

Разницы в пролонгации адаптивного периода не наблюдалось как в сравнении с контрольным образцом, так и при сравнении исследуемых пробирок между собой. Существенно сниженная скорость генеративной активности способствовала укорочению экспоненциальной фазы,

а именно в периоде P-2: до 6-го часа для образца Ag + Cu и до 8-го часа для образца Cu. Показатель α (пик истинного логарифмического прироста, окончание периода P-2): для образца Ag + Cu — 6-й час ($1,47 \pm 0,30$ Umcf), для образца Cu — 8-й час ($0,99 \pm 0,30$ Umcf). В данных образцах отмечено значительное увеличение продолжительности периода отрицательного ускорения (P-3), по окончании которого клетками была достигнута M-концентрация (показатель β): для образца Ag + Cu (10-й час) — $1,85 \pm 0,30$ Umcf (ниже относительно контрольного образца на 54,09%), для образца Cu (14-й час) — $1,25 \pm 0,3$ Umcf (ниже относительно контрольного образца на 68,98%).

При культивировании исследуемой смешанной культуры *S. constellatus* + *F. nucleatum* после анодного растворения серебряно-медного электрода (Ag + Cu) в одной пробе и анодного растворения медного электрода (Cu) в другой пробе установлена статистически значимая задержка начала экспоненциального развития клеток только в отношении образца Cu (до 10-го часа культивирования). По сравнению с контрольной пробиркой формируемые кривые кинетики развития бактериальной популяции исследуемых образцов чётко отображали разницу в изменении показателя OD в периоде P-1, причём скорость генеративной активности клеток в образце Cu была статистически значимо ниже относительно образца Ag + Cu. С учётом пролонгации адаптивной фазы и первичных периодов экспоненциальной фазы эксперимента логарифмический подъём исследуемых образцов происходил значительно позже относительно контрольного культивирования, однако скорость бактериального прироста при этом статистически значимо не отличалась. Максимальный показатель OD в окончании периода P-2 был зарегистрирован на 16-й час (исследуемый образец Ag + Cu) и 22-й час (исследуемый образец Cu) со средним снижением оптического числа на 45,04% относительно контрольной пробирки.

При этом на графиках чётко отмечалась разница между исследуемыми образцами в процессе падения скорости развития клеток: для образца Ag + Cu был характерен период отрицательного ускорения культуры (16–18-й час), по окончании которого была достигнута M-концентрация популяции, со значением OD, равным $2,32 \pm 0,30$ Umcf; для исследуемого образца Cu данного периода не наблюдалось, и M-концентрация была сопоставима с показателем α — $2,43 \pm 0,30$ Umcf (22-й час). Фаза стационарного развития была непродолжительной для данных образцов, со следующим средним значением OD: Ag + Cu — $2,34 \pm 0,30$ Umcf (снижение относительно контроля на 50%), Cu — $2,41 \pm 0,30$ Umcf (снижение относительно контроля на 48,5%). Установлена статистически значимая задержка начала экспоненциального развития клеток в обоих образцах (до 6-го и 8-го часа культивирования соответственно).

При культивировании исследуемой смешанной культуры *S. sanguis* + *E. faecium* после анодного растворения серебряно-медного электрода (Ag + Cu) в одной пробе

и анодного растворения медного электрода (Cu) в другой пробе отмечена разница во временной задержке логарифмической фазы: при воздействии с помощью Ag + Cu первоначальные признаки развития клеток отмечались уже с 4-го часа эксперимента (контрольный образец — 6-й час), в то время как для образца Cu рост и начальное деление популяций было характерно только с 8-го часа культивирования.

При сравнении кинетики развития по изменению показателя OD для данных образцов отмечено существенное снижение значений OD относительно контрольной пробирки, при этом тенденция построения кривой на графике была сравнительно одинаковой между образцами Ag + Cu и Cu и отличалась разницей в оптическом значении.

Для обоих образцов наблюдалась трудноразличимая картина перехода культуры от периода ускоренного развития к истинному логарифмическому росту, при этом начало экспоненциального скачка (период P-2 фазы F-2) было в одно время: образец Ag + Cu — 10-й час ($0,74 \pm 0,30$ Umcf), образец Cu — также 10-й час ($0,14 \pm 0,30$ Umcf). Непродолжительность логарифмического развития способствовала быстрому достижению образцами максимального оптического числа в данном отрезке культивирования (показатель α) и последующему удлинению периода отрицательного ускорения (период P-3). Для образца Cu ключевые значения OD были достигнуты одновременно. Показатель α (пик истинного логарифмического прироста, окончание периода P-2): для образца Ag + Cu — 14-й час ($2,14 \pm 0,30$ Umcf), для образца Cu — 18-й час ($1,54 \pm 0,30$ Umcf). Показатель β (M-концентрация, окончание периода P-3): для образца Ag + Cu (18-й час) — $2,63 \pm 0,30$ Umcf (ниже относительно контрольного образца на 53,04%), для образца Cu (18-й час) — $1,54 \pm 0,30$ Umcf (ниже относительно контрольного образца на 72,50%). Между исследуемыми образцами также отмечалась статистически значимая разница, наиболее чётко просматриваемая в показателе OD в стационарном равновесии: для образца Ag + Cu (18–22-й час) — $2,66 \pm 0,30$ Umcf, а для образца Cu (18–28-й час) — $1,57 \pm 0,30$ Umcf, что было на 40,08% ниже относительно образца Ag + Cu и на 72,46% ниже относительно OD в аналогичной точке в контрольной пробирке.

Обсуждение полученных результатов

Вопросы разработки и совершенствования активных методов дезинфекции корневых каналов зубов, особенно позволяющих обработать облитерированную часть корневого канала, сохраняют свою актуальность в настоящее время. По данным M. Sakko с соавт. [13], при повторном эндодонтическом лечении зубов, несмотря на использование современных ирригантов, в корневых каналах обнаруживаются стрептококки и энтерококки в ассоциациях с другими видами микроорганизмов (в том числе с грибами рода *Candida*), резистентные к применяемым антибактериальным средствам.

Результаты изучения антибактериальной активности анодного растворения серебряно-медных и медных электродов, применяемых при трансканальных воздействиях постоянным током, в отношении клинических изолятов отдельных штаммов (бактерий и дрожжевых грибов) и *mix*-культур патогенных микроорганизмов, полученных из корневых каналов зубов при лечении хронических форм пульпита, показали, что анодное растворение как серебряно-медных, так и медных электродов обладает выраженным и в целом односторонним антибактериальным действием. При этом обнаружено, что если в отношении клинического изолята *P. intermedia* более эффективным является использование серебряно-медного электрода, то в отношении штаммов *S. constellatus*, *C. albicans*, а также смешанных культур патогенных микроорганизмов *S. constellatus* + *F. nucleatum* и *S. sanguis* + *E. faecium* более выраженный антибактериальный эффект показывает анодное растворение медного электрода.

Полученные данные отчасти противоречат результатам исследований О.И. Ефанова и соавт. [14–16], которые изучали антибактериальное действие анодного растворения электродов, изготовленных из различных металлов, в отношении патогенной факультативно-анаэробной микробиоты корневых каналов зубов. Авторами установлено, что наибольшей антибактериальной активностью обладает анодное растворение серебряно-медных электродов. Однако эти экспериментальные исследования были проведены на плотных питательных средах в чашках Петри. В нашей работе мы изучали антибактериальную активность анодного растворения металлических электродов в жидких питательных средах, что в большей степени соответствует жизнедеятельности микроорганизмов в корневых каналах зубов. Кроме того, указанные авторы не изучали влияния анодного растворения электродов на смешанные культуры микроорганизмов.

При этом полученные нами результаты полностью согласуются с данными исследований А.Г. Волкова с соавт. [17]. Эти авторы отмечают высокий антибактериальный эффект трансканальных воздействий постоянным током, проводимых с анода. В нашем исследовании мы подтвердили этот факт на смешанных культурах микроорганизмов.

Большая антибактериальная активность анодного растворения медных электродов по сравнению с серебряно-медными электродами в жидких питательных средах, очевидно, связана с тем, что при использовании серебряно-медного электрода, который представляет собой

медный сердечник, покрытый слоем серебра, анодному растворению подвергается в основном серебро, которое отличается меньшей электрохимической растворимостью и электрофоретической подвижностью по сравнению с медью [18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При эндодонтическом лечении зубов с частично облитерированными корневыми каналами наряду с анодным растворением серебряно-медных электродов можно использовать анодное растворение медных электродов как средство, способное оказать выраженное антибактериальное действие. Решить проблему глубокой дезинфекции дентина, дельт корневых каналов зубов и облитераций, в том числе полных, можно, только используя транспорт препаратов в корневую систему с помощью постоянного тока. Совершенствование метода электрофореза корневой системы зубов с этой целью имеет важное значение для стоматологии.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведённым исследованием и публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. С.Н. Разумова — общая редакция статьи; Н.Ж. Дикопова — обзор отечественной литературы; Е.В. Ипполитов — обзор зарубежной литературы; А.Г. Волков — анализ полученных результатов; А.В. Царёв — проведение экспериментальных исследований; М.С. Подпорин — написание текста; Т.В. Будина — сбор полученных результатов.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. S.N. Razumova — general edition; N.Zh. Dikopova — review of domestic literature; E.V. Ippolitov — review of foreign literature; A.G. Volkov — analysis of the results; A.V. Tsarev — conducting experimental research; M.S. Podporin — writing the text; T.V. Budina — collection of the results.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разумова С.Н., Тимохина М.И., Булгаков В.С., Анурова А.Е. Факторы, обеспечивающие качественное эндодонтическое лечение // Журнал научных статей Здоровье и образование в XXI веке. 2015. Т. 17, № 2. С. 35–36. EDN: TOODVD
2. Razumova S., Brago A., Khaskhanova L., et al. Evaluation of anatomy and root canal morphology of the maxillary first molar using the cone-beam computed tomography among residents of the moscow region // *Contemp Clin Dent*. 2018. Vol. 9, Suppl 1. P. S133–S136. doi: 10.4103/ccd.ccd_127_18
3. Razumova S., Brago A., Khaskhanova L., et al. A cone-beam computed tomography scanning of the root canal system of permanent teeth among the Moscow population // *Int J Dent*. 2018. Vol. 2018. P. 2615746. doi: 10.1155/2018/2615746
4. Волков А.Г., Дикопова Н.Ж., Сохова И.А., и др. Аппаратные методы диагностики и лечения заболеваний зубов: учебное пособие по физиотерапии. Москва: Российский университет дружбы народов (РУДН), 2020. 80 с. EDN: ECVVSI
5. Макеева И.М., Волков А.Г., Даурова Ф.Ю., и др. Физические аппаратные методы диагностики и лечения в эндодонтии: учебно-методическое пособие для студентов стоматологических факультетов медицинских вузов. Москва: Российский университет дружбы народов (РУДН), 2020. 48 с. EDN: HYZAAX
6. Волков А.Г., Дикопова Н.Ж., Шпилко А.Л. Трансканальные воздействия постоянным током и лазероманнитерапия при лечении зубов с труднопроходимыми корневыми каналами // *Лазерная медицина*. 2011. Т. 15, № 2. С. 101-а. EDN: TBELUJ
7. Патент РФ на изобретение № 2252795/27.05.2005. Ефанов О.И., Носов В.В., Волков А.Г., Дикопова Н.Ж. Способ локального направленного внутриканального воздействия (апекс-фореза) при эндодонтическом лечении зубов. EDN: LLMDDHZ
8. Патент РФ на изобретение № 2239463 C1/10.11.2004. Носов В.В., Волков А.Г. Электрод-проводник внутриканальный. EDN: GFSUFM
9. Ефанов О.И., Царев В.Н., Волков А.Г., и др. Антибактериальное действие цинка при апекс-форезе // *Российский стоматологический журнал*. 2012. № 1. С. 5–9. EDN: PGJEPZ
10. Ефанов О., Царев В., Николаева Е., и др. Изучение влияния апекс-фореза на микрофлору корневых каналов зубов с помощью полимеразной цепной реакции // *Cathedra-Кафедра. Стоматологическое образование*. 2006. Т. 5, № 2. С. 36–40. EDN: HVDRZB
11. Ефанов О.И., Волков А.Г. Эффективность и перспективы развития трансканальных воздействий постоянным током при лечении зубов с труднопроходимыми корневыми каналами // *Ортодонтия*. 2009. № 3. С. 32–37. EDN: PUQICD
12. Volkov A.G., Dikopova N.Zh., Arzukanyan A.V., et al. Distribution of metal compounds in the tissues of the root of the tooth with apex-foreses (iontophoresis of copper and silver) // *New Armenian Medical Journal*. 2021. Vol. 15, N 1. P. 59–66. EDN: VNMBQJ
13. Sakko M., Tjäderhane L., Rautema-Richardson R. Microbiology of root canal infections // *Prim Dent J*. 2016. Vol. 5, N 2. P. 84–89. doi: 10.1308/205016816819304231
14. Ефанов О.И., Царев В.Н., Носик А.С., и др. Исследование антибактериальной активности апекс-фореза с использованием серебряно-медного электрода in vitro - // *Российский стоматологический журнал*. 2006. № 4. С. 1–6. EDN: HUIJMKV
15. Ефанов О.И., Царев В.Н., Волков А.Г., и др. Оценка антибактериальной активности апекс-фореза // *Стоматология*. 2006. Т. 85, № 5. С. 20.
16. Ефанов О.И., Царев В.Н., Волков А.Г., и др. Антибактериальная эффективность различных видов трансканального воздействия постоянным током // *Российский стоматологический журнал*. 2008. № 2. С. 38–42. EDN: JTIIGT
17. Волков А.Г., Прикулс В.Ф., Дикопова Н.Ж., и др. Изучение влияния разных видов трансканального воздействия постоянным током на микрофлору корневых каналов // *Стоматология*. 2019. Т. 98, № 2. С. 37–41. EDN: SVLDFY doi: 10.17116/stomat20199802137
18. Ефанов О.И., Волков А.Г., Носов В.В. Распределение меди и серебра в тканях корня зуба при апекс-форезе и степень проводимости корневого канала // *Российский стоматологический журнал*. 2008. № 5. С. 7–10. EDN: JVOWNP

REFERENCES

1. Razumova SN, Timohina MI, Bulgakov VS, Anurova AE. The factors that ensure quality endodontic treatment. *The Journal of Scientific Articles Health and Education Millennium*. 2015;17(2):35–36. EDN: TOODVD
2. Razumova S, Brago A, Khaskhanova L, et al. Evaluation of anatomy and root canal morphology of the maxillary first molar using the cone-beam computed tomography among residents of the moscow region. *Contemp Clin Dent*. 2018;9(Suppl. 1):S133–S136. 10.4103/ccd.ccd_127_18
3. Razumova S, Brago A, Khaskhanova L, et al. A cone-beam computed tomography scanning of the root canal system of permanent teeth among the Moscow population. *Int J Dent*. 2018;2018:2615746. doi: 10.1155/2018/2615746
4. Volkov AG, Dikopova NZh, Sokhova IA, et al. *Hardware methods of diagnosis and treatment of dental diseases: a textbook on physiotherapy*. Moscow: Peoples' Friendship University of Russia (RUDN); 2020. 80 p. EDN: ECVVSI
5. Makeeva IM, Volkov AG, Daurova FYu, et al. *Physical hardware methods of diagnosis and treatment in endodontics: an educational and methodological guide for students of dental faculties of medical universities*. Moscow: Peoples' Friendship University of Russia (RUDN); 2020. 48 p. (In Russ). EDN: HYZAAX
6. Volkov AG, Dikopova NZh, Shpilko AL. Transcanal direct current and laser-magnet therapy for treating teeth with diffi cult root canals. *Lazernaya medicina*. 2011;15(2):101-a. EDN: TBELUJ
7. Patent RUS No. 2252795/27.05.2005. Efanov OI, Nosov VV, Volkov AG, Dikopova NJ. *Method of local directed intracanal exposure (apex-phoresis) in endodontic treatment of teeth*. (In Russ). EDN: LLMDDHZ
8. Patent RUS No. 2239463 C1/10.11.2004. Nosov VV, Volkov AG. *Electrode-conductor intrachannel*. (In Russ). EDN: GFSUFM
9. Efanov OI, Tsarev VN, Volkov AG, et al. Antibacterial effect of zinc in apex-phoresis. *Russian Journal of Dentistry*. 2012;(1):5–9. EDN: PGJEPZ

- 10.** Efanov O, Tsarev V, Nikolaeva E, et al. Study of the effect of apex-phoresis on the microflora of root canals of teeth using polymerase chain reaction. *Cathedra-Kafedra. Stomatologicheskoe obrazovanie*. 2006;5(2):36–40. (In Russ). EDN: HVDRZB
- 11.** Efanov OI, Volkov AG. Efficiency and prospects of development of transcanal direct current effects in the treatment of teeth with impenetrable root canals. *Ortodontija*. 2009;(3):32–37. EDN: PUQICD
- 12.** Volkov AG, Dikopova NZh, Arzukanyan AV, et al. Distribution of metal compounds in the tissues of the root of the tooth with apex-foreses (iontophoresis of copper and silver). *New Armenian Medical Journal*. 2021;15(1):59–66. EDN: VNMBQJ
- 13.** Sakko M, Tjäderhane L, Rautemaa-Richardson R. Microbiology of root canal infections. *Prim Dent J*. 2016;5(2):84–89. doi: 10.1308/205016816819304231
- 14.** Yefanov OI, Tsaryov VN, Nosik AS, et al. In vitro study of the antibacterial activity of apex-phoresis using silver-copper electrode. *Russian Journal of Dentistry*. 2006;(4):1–6. EDN: HJMKB
- 15.** Efanov OI, Tsarev VN, Volkov AG, et al. Evaluation of antibacterial activity of apex-phoresis. *Stomatology*. 2006;85(5):20. (In Russ).
- 16.** Yefanov OI, Tsaryov VN, Volkov AG, et al. Antibacterial efficacy of various types of transcanal direct current exposure. *Russian Journal of Dentistry*. 2008;(2):38–42. EDN: JTIIGT
- 17.** Volkov AG, Prikuls VF, Dikopova NZh, et al. The study on the impact of various types of currents on root canal microbiota. *Stomatology*. 2019;98(2):37–41. EDN: SVLDFY doi: 10.17116/stomat20199802137
- 18.** Yefanov OI., Volkov AG., Nosov VV. Distribution of copper and silver in the tissues of the root of the tooth with apex-foresis and the degree of patency of the root canal. *Russian Journal of Dentistry*. 2008;(5):7–10. EDN: JVOWNP

ОБ АВТОРАХ

* Царёв Андрей Владимирович;

адрес: Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6;
ORCID: 0000-0002-1900-0962;
e-mail: digreezvipru@gmail.com

Дикопова Наталья Жоржевна, канд. мед. наук, доцент;

ORCID: 0000-0002-4031-2004;
eLibrary SPIN: 3635-2998;
e-mail: zubnoy-doctor@yandex.ru

Ипполитов Евгений Валерьевич, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0003-1737-0887;
eLibrary SPIN: 3002-7360;
Author ID: 631525;
ippo@bk.ru

Волков Александр Григорьевич, д-р мед. наук, доцент,

профессор;
ORCID: 0000-0003-2674-1942;
eLibrary SPIN: 3391-0877;
e-mail: parodont@inbox.ru

Разумова Светлана Николаевна, д-р мед. наук;

ORCID: 0000-0003-3211-1357;
eLibrary SPIN: 6771-8507;
razumova-sn@rudn.ru

Подпорин Михаил Сергеевич, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0001-6785-0016;
eLibrary SPIN: 1937-4996;
Author ID: 819560;
e-mail: dr.mikhailpodporin@gmail.com

Будина Татьяна Васильевна, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0002-6957-5510;
eLibrary SPIN: 8217-9886;
Author ID: 885704;
e-mail: budina_tatiana@mail.ru

AUTHORS' INFO

* Andrei V. Tsarev;

address: 6 Miklukho-Maklaya street, 117198 Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0002-1900-0962;
e-mail: digreezvipru@gmail.com

Natalya Zh. Dikopova, MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor;

ORCID: 0000-0002-4031-2004;
eLibrary SPIN: 3635-2998;
e-mail: zubnoy-doctor@yandex.ru

Evgeniy V. Ippolitov, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;

ORCID: 0000-0003-1737-0887;
eLibrary SPIN: 3002-7360;
Author ID: 631525;
ippo@bk.ru

Alexander G. Volkov, MD, Dr. Sci. (Medicine), Associate Professor, Professor;

ORCID: 0000-0003-2674-1942;
eLibrary SPIN: 3391-0877;
e-mail: parodont@inbox.ru

Svetlana N. Razumova, MD, Dr. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0003-3211-1357;
eLibrary SPIN: 6771-8507;
razumova-sn@rudn.ru

Mikhail S. Podporin, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0001-6785-0016;
eLibrary SPIN: 1937-4996;
Author ID: 819560;
e-mail: dr.mikhailpodporin@gmail.com

Tatiana V. Budina, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0002-6957-5510;
eLibrary SPIN: 8217-9886;
Author ID: 885704;
e-mail: budina_tatiana@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author