

Зависимость показателей электроодонтометрии от конфигурации корневого канала

© Петрикас А.Ж.¹, Честных Е.В.¹, Карпенков А.Ю.², Ларичкин И.О.¹, Дунаева Г.Г.², Медведев Д.В.¹, Куликова К.В.¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. Тверь, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный университет». Тверь, Россия

Резюме:

Цель. Оценка зависимости показателей электроодонтометрии от конфигурации корневого канала и определение значения результирующего действия тока, при котором у пациентов возникает ответная реакция на электроодонтометрию.

Материалы и методы. Исследование заключалось в создании компьютерных моделей зубов и их анализе методом конечных элементов в программе COMSOL Multiphysics. Прототипом для компьютерных 3D-моделей был выбран удалённый зуб 2.2. Зуб был рассечён на фрагменты толщиной 2 миллиметра, с которых были сняты геометрические параметры твёрдых тканей и положение корневого канала. По этим данным была построена 3D-модель зуба. На основе модели зуба 2.2 были построены 5 моделей этого же зуба, имитирующие этапы формирования его корня.

Результаты. Во всех моделях с увеличением ширины канала в области апекса от 0,3 мм до 2,55 мм уменьшалась плотность тока в этой области с 26,92 А/м² до 0,63 А/м². Максимальная плотность тока в моделях регистрировалась в наиболее узкой части корневого канала и составляла от 26,01 А/м² до 26,75 А/м².

Выводы. Сила диагностического тока, вызывающая ответную реакцию у пациентов при проведении электроодонтометрии, зависит от конфигурации корневого канала, а именно – от площади поперечного сечения в наиболее узкой части корневого канала, где регистрируется максимальная плотность тока. Плотность тока, при которой у пациентов возникает ответная реакция на электроодонтометрию, составляет 26-27 А/м².

Ключевые слова: электроодонтометрия, 3D-модель зуба, плотность тока.

Статья поступила: 05.08.2022; **исправлена:** 13.09.2022; **принята:** 17.09.2022.

Конфликт интересов: Петрикас А.Ж. является членом редакционной коллегии, однако, влияние было нивелировано в процессе двойного слепого рецензирования.

Благодарности: финансирование и индивидуальные благодарности для декларирования отсутствуют.

Для цитирования Петрикас А.Ж., Честных Е.В., Карпенков А.Ю., Ларичкин И.О., Дунаева Г.Г., Медведев Д.В., Куликова К.В. Зависимость показателей электроодонтометрии от конфигурации корневого канала. Эндодонтия today. 2022; 20(3):204-210. DOI: 10.36377/1726-7242-2022-20-3-204-210.

Dependence of electroodontometry indicators on the configuration of the root canal

© Arnold Zh. Petrikas¹, Elena V. Chestnyh¹, Aleksei Yu. Karpenkov², Ilia O. Larichkin¹, Galina G. Dunaeva², Denis V. Medvedev¹, Kira V. Kulikova¹

¹Tver State Medical University. Tver, Russia

²Tver State University. Tver, Russia

Abstract:

Aim. To assess the dependence of electroodontometry indicators on the configuration of the root canal and to determine the value of the resultant action of the current at which patients have a response to electroodontometry.

Materials and methods. The research consisted in the creation of computer models of teeth and their analysis by the finite element method in the COMSOL Multiphysics program. The removed tooth 2.2 was chosen as a prototype for 3D computer models. The tooth was dissected into fragments 2 millimeters thick, from which the geometric parameters of hard tissues and the position of the root canal were removed. Based on these data, a 3D model of the tooth was built. Based on the 2.2 tooth model, 5 models of the same tooth were constructed, simulating the stages of its root formation.

Results. In all models, with an increase in the channel width in the apex area from 0.3 mm to 2.55 mm, the current density in this area decreased from 26.92 A/m² to 0.63 A/m². The maximum current density in the models was recorded in the

narrowest part of the root canal and ranged from 26.01 A/m² to 26.75 A/m².

Conclusions. The strength of the diagnostic current that causes a response in patients during electroodontometry depends on the configuration of the root canal, namely, on the cross-sectional area in the narrowest part of the root canal, where the maximum current density is recorded. The current density at which patients have a response to electroodontometry is 26-27 A/m².

Keywords: electroodontometry, 3D model of a tooth, current density.

Received: 5.08.2022; **revised:** 13.09.2022; **accepted:** 17.09.2022.

Conflict of interests: Arnold Zh. Petrikas is a member of the journal editorial board, however, the influence was excluded in the double-blind peer review process.

Acknowledgments: there are no funding and individual acknowledgments to declare.

For citation: Arnold Zh. Petrikas, Elena V. Chestnyh, Aleksei Yu. Karpenkov, Iliia O. Larichkin, Galina G. Dunaeva, Denis V. Medvedev, Kira V. Kulikova. Dependence of electroodontometry indicators on the configuration of the root canal. *Endodontics today*. 2022; 20(3):204-210. DOI: 10.36377/1726-7242-2022-20-3-204-210.

ВВЕДЕНИЕ

Для определения морфо-функционального состояния пульпы зуба в настоящее время врачами-стоматологами используются различные клинические и параклинические методы. Все эти методы делятся на две группы: тесты на витальность и тесты на чувствительность. Тесты на витальность оценивают состояние капиллярного кровотока пульпы зуба. К ним относятся лазерная доплеровская флоуметрия и пульсоксиметрия. Тесты на чувствительность, к которым относятся холодовой тест и электроодонтометрия, оценивают состояние нервного аппарата пульпы зуба. Несмотря на то, что тесты на чувствительность не предназначены для оценки жизнеспособности сосудисто-нервного пучка, они широко используются врачами-стоматологами при постановке диагноза. С помощью холодового теста и электроодонтометрии можно неинвазивно определить наличие обратимого и необратимого воспаления пульпы зуба, а также её некроз.

Электроодонтометрия – это метод оценки нервных элементов пульпы зуба с помощью электрического тока. Она считается достаточно безопасной, так как ток не повреждает ткани зуба. Большой вклад в развитие электроодонтометрии в XX веке внёс российский учёный Л.Р. Рубин, который разработал стандартную методику проведения теста, отличающуюся от аналогов. Профессор Л.Р. Рубин использовал аппарат, работающий от сети и генерирующий синусоидальный переменный ток частотой 50 Гц. Такие характеристики тока обуславливают высокую диагностическую эффективность [1].

Несмотря на широкое распространение в клинической практике, метод электроодонтометрии считается недостаточно точным при определении статуса пульпы. Учебная литература определяет амплитуду показателей интактных зубов в 2-6 микроампер (мкА). По данным Стоматологической Ассоциации России (СТАР) снижение значения результатов электроодонтометрии до 20-25 мкА указывает на наличие изменений в пульпе, которые могут носить как обратимый, так и необратимый характер. А.Ж. Петрикас в клиническом исследовании определил диапазон показателей электроодонтометрии интактных зубов у пациентов 18-42 лет, который составил 2-28 мкА. Другие исследования сообщают о еще более широком разбросе показателей здоровых зубов от 10 до 34 мкА [2].

Доказано, что на результат электроодонтометрии могут влиять различные местные факторы. Наличие на

зубе композитной пломбы может увеличивать показатели ЭОМ интактной пульпы почти в 2 раза [3]. К такому же повышению значений приводит наличие кариозной полости в пределах дентина [4]. Менее значительное, однако, значимое снижение чувствительности пульпы к диагностическому току регистрируется при наличии флюороза [5].

Исходя из вышесказанного, индивидуальная чувствительность пульпы к диагностическому току подвержена выраженным колебаниям среди различных групп пациентов. Значительный разброс показателей не позволяет «привязать» цифровые значения электроодонтометрии к определенному диагнозу при обследовании пациента [6]. На это указывал и один из основателей метода – профессор Рубин Л.Р. Он утверждал, что одни и те же изменения электровозбудимости пульпы могут возникать при самых разных патологических состояниях, поэтому никаких диапазонов для различных заболеваний устанавливать нельзя [7].

Проблемы с определением морфо-функционального статуса пульпы связаны с особенностью её анатомического расположения. Сосудисто-нервный пучок зуба находится в замкнутом пространстве пульпарной камеры и системы корневых каналов, окруженный твердыми тканями – эмалью и дентином. Единственные пути сообщения её с организмом располагаются в области апикальных отверстий. Твердые ткани зуба являются диэлектриками, то есть достаточно плохо проводят электрический ток. Это позволяет рассматривать зуб как замкнутую физическую систему и обуславливает использование такого неинвазивного метода как электроодонтометрия при оценке состояния пульпы.

Несмотря на то, что электроодонтометрия является физическим методом, физические факторы при оценке её результатов не учитываются. Высокая болевая чувствительность пульпы к электрическому току объясняется в современной литературе большим скоплением нервных окончаний в субодонтобластическом сплетении Рашкова. Резкое повышение показателей электроодонтометрии постоянных зубов, находящихся в стадии апексогенеза и апексификации, связывают с формированием нервных окончаний и недостаточной сенсорной функцией молодой пульпы. Снижение электровозбудимости молочных зубов с резорбирующимися корнями некоторые авторы объясняют воспалением их пульпы под воздействием патогенных микробов, грибов и продуктов гниения пищи [8, 9, 10].

В своем исследовании А.Ж. Петрикас с соавторами установил зависимость показателей электроодонтометрии у пациентов 6-15 лет от ширины апикального сужения корня зуба [11]. Однако причинно-следственной связи в данном исследовании установлено не было.

При изучении данных литературы, а также основываясь на результатах собственных исследований, авторами была выдвинута гипотеза о зависимости показателей электроодонтометрии от конфигурации всего корневого канала. Появление ответной реакции на диагностический ток, как мы предполагаем, связано с достижением определенного значения результирующего действия тока.

ЦЕЛЬ

1. Оценить зависимость показателей электроодонтометрии от конфигурации корневого канала;
2. Определить значение результирующего действия тока, при котором у пациентов возникает ответная реакция на электроодонтометрию.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на базе кафедры терапевтической стоматологии ТГМУ и лаборатории магнитных материалов ЦКП ТвГУ, и заключалось в создании компьютерных моделей зубов и их анализе методом конечных элементов в программе COMSOL Multiphysics. Данное программное обеспечение используется для мультифизического моделирования и создания расчетных математических моделей, с целью лабораторного изучения реальных физических процессов, проходящих в различных сложноорганизованных объектах. В сравнении с реальными экспериментами, моделиро-

вание позволяет эффективнее и точнее описать изучаемые процессы. Метод конечных элементов – это численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными. Его суть заключается в разбиении области, в которой интересующий нас параметр изменяется по сложному закону, на множество подобластей-элементов. В этих элементах проводятся дальнейшие расчеты.

Прототипом для компьютерной 3D-модели был выбран удаленный зуб 2.2, как типичный представитель однокорневых зубов (рис. 1).

Зуб рассекли на фрагменты толщиной 2 миллиметра, с которых сняли геометрические параметры твердых тканей и положение корневого канала. По этим данным была построена 3D-модель зуба, интегрированного в альвеолярную кость, окруженную десной и частью губы. На середине вестибулярной поверхности коронки смоделировали активный электрод аппарата для электроодонтометрии. Пассивный электрод был расположен на губе (рис. 2).

Для задания характеристик элементам модели, мы определили удельную электрическую проводимость эмали, дентина и пульпы зуба. Для этого подготовили образцы твердых тканей (эмали и дентина) размером 2×1 миллиметр, а также экстирпированную пульпу. Электрическое сопротивление образцов тканей измерялось методом амперметра-вольтметра. В качестве источника тока использовался программируемый источник питания АКИП 1143/300/10. Величина проходящего тока измерялась посредством универсального вольтметр В7-78/1. Полученные электрические свойства тканей зуба представлены в таблице 1. Показатели удельной электропроводности для кости, десны и губы были взяты из литературных источников [12].

На основе модели зуба 2.2 мы построили 5 моделей этого же зуба, имитирующие этапы формирования его корня. Показатели ширины корневого канала для моделей взяли из предыдущего исследования авторов «Феномен чувствительности дентальной пульпы при формировании постоянных зубов» [11]. На активный электрод каждой модели подавался ток, сила которого соответствовала той силе тока, при которой у пациентов появляется ответная реакция в зубах, находящихся на данном этапе формирования корня. Эти данные также получены из вышеописанного исследования и представлены в таблице 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате исследования нам удалось на примере конкретного зуба проследить изменение характеристик диагностического тока внутри корневого канала на разных этапах формирования корня. В качестве расчетной характеристики была выбрана плотность тока, которая отражает технический смысл силы электрического тока, протекающего через элемент поверхности единичной площади, и выражается в амперах на метр



Рис. 1. Прототип и модель зуба 2.2.

Fig. 1. Prototyp and model of the tooth 2.2.

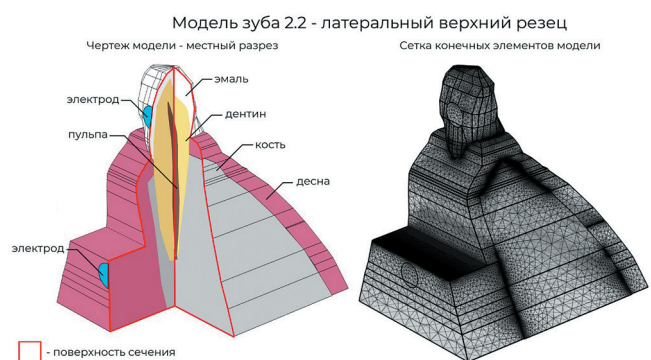


Рис. 2. 3D-модель зуба 2.2 в программе COMSOL Multyphysics.

Fig. 2. 3D model of the tooth 2.2 in the COMSOL Multiphysics program.

Таблица 1. Электрические свойства тканей зуба.

Table 1. Electrical properties of tooth tissues.

Вид ткани	R (сопротивление), Ом	L (электропроводность), См	X (удельная электропроводность), См/м
Дентин	20×10^6	5×10^{-8}	$8,3 \times 10^{-6}$
Эмаль	50×10^6	2×10^{-8}	$1,66 \times 10^{-6}$
Пульпа	$1,4 \times 10^6$	$7,14 \times 10^{-7}$	0,042

квадратный (A/m^2). Переменный ток частотой 50 Гц от активного электрода проходит по максимально короткому пути к пульпе зуба. Далее он распространяется по корневному каналу до апикального отверстия, а оттуда – по максимально короткому пути, через кость и губу – к пассивному электроду.

В модели №1, которая была создана на основе интактного зуба 2.2, максимальная плотность тока регистрировалась в области апикального сужения и составила $26,92 A/m^2$.

В модели №2, где ширина апикального сужения была $0,72$ мм, плотность тока в этой области составила $19,02 A/m^2$. Максимальная плотность тока была зарегистрирована в области наибольшего сужения корневого канала – на границе апикальной и средней трети канала – и составила $26,17 A/m^2$.

В моделях №3-№6 с увеличением ширины канала от $0,82$ мм до $2,55$ мм уменьшалась плотность тока в этой области с $16,26 A/m^2$ до $0,63 A/m^2$. Максимальная плотность тока в этих моделях регистрировалась в области

устья – наиболее узкой части корневого канала – и составляла от $26,01 A/m^2$ до $26,75 A/m^2$ (рис. 3).

Во всех моделях прослеживалась тенденция к уменьшению плотности тока в области апекса, при увеличении ширины апикальной части корневого канала. Также от ширины канала зависела сила диагностического тока, подаваемого на активный электрод, вызывавшая ответную реакцию у пациента в исследовании «Феномен чувствительности дентальной пульпы при формировании постоянных зубов» [11]. Однако, практически одинаковой во всех моделях была максимальная плотность тока, которая регистрировалась в области наибольшего сужения корневого канала (рис. 4).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сила диагностического тока, который вызывает ответную реакцию у пациента, имеет прямую корреляционную зависимость от ширины корневого канала в области апекса [11]. Плотность тока в области апикального сужения имеет обратную зависимость от площади

Таблица 2. Характеристика моделей зуба 2.2 по данным исследования «Феномен чувствительности дентальной пульпы при формировании постоянных зубов» (Петрикас 2020).

Table 2. Characteristics of tooth models 2.2 according to the study "The phenomenon of sensitivity of dental pulp in the formation of permanent teeth" (Petrikas 2020).

Показатели		Модель №6	Модель №5	Модель №4	Модель №3	Модель №2	Модель №1
		6,5-7 лет	7-8 лет	9-10 лет	11-12 лет	13-15 лет	Сформированный интактный зуб
n (количество пациентов)		50	62	56	60	52	–
ЭОМ (мкА)	M	$140,86 \pm 6,12$	$91,95 \pm 6,01$	$39,75 \pm 3,55$	$35,83 \pm 4,30$	$24,35 \pm 2,92$	6
	SD	43,31	47,29	26,55	33,31	21,02	–
Ширина апикального сужения (мм)	M	$2,55 \pm 0,07$	$1,96 \pm 0,05$	$1,39 \pm 0,04$	$0,82 \pm 0,03$	$0,72 \pm 0,03$	0,30
	SD	0,53	0,36	0,31	0,26	0,24	–

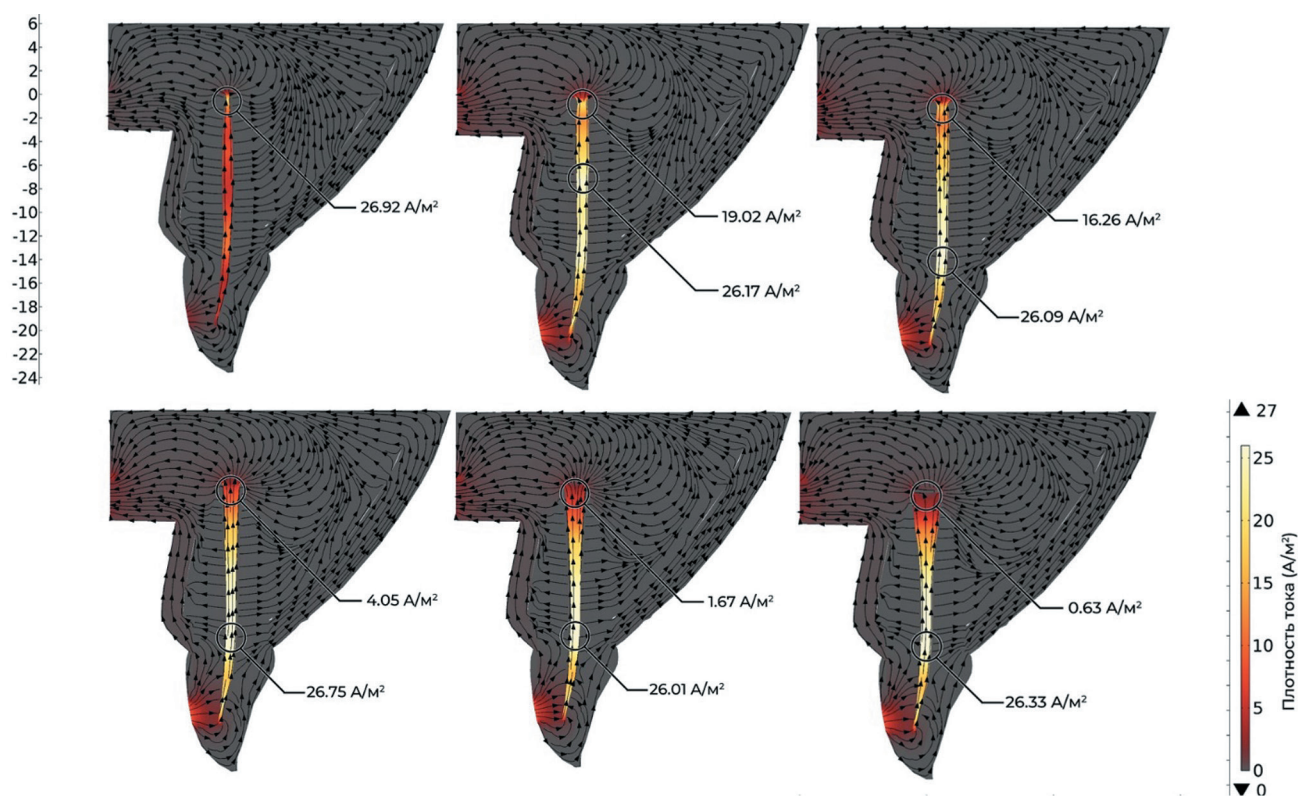


Рис. 3. Плотность тока в корневом канале зуба 2.2 на этапах формирования корня (в области апекса и максимальная)

Fig. 3. Current density in the root canal of the tooth 2.2 at the stages of root formation (in the apex area and maximum)

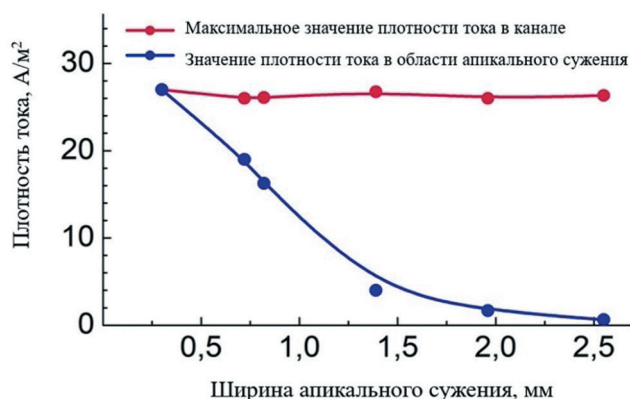


Рис. 4. Значение плотности тока в области апекса и наибольшего сужения канала.

Fig. 4. The value of the current density in the area of the apex and the greatest narrowing of the channel.

сечения корневого канала в районе апекса. Неизменным клиническим проявлением, характеризующим эти зависимости, является появление ответной реакции у пациентов на электроодонтометрию. В серии моделей, имитирующих вышеописанное клиническое исследование, в качестве показателя результирующего действия тока мы рассчитали плотность тока. Максимальная плотность тока была практически одинаковой во всех моделях – от 26,01 А/м² до 26,92 А/м², а область, в которой она регистрировалась, располагалась в области наибольшего сужения корневого канала. Данная область в интактных зубах, чаще всего, располагается в области апикального сужения, а в зубах с формирующимися корнями смещается в сторону устья. Учитывая вышесказанное можно сделать вывод, что появление ощущений у пациентов, при проведении электроодонтометрии, связано с неизменным показателем результирующего действия тока – плотностью тока величиной 26-27 А/м².

Некоторые источники литературы объясняют снижение электровозбудимости пульпы постоянных зубов, при формировании корней, её бедностью нервными

элементами. В нашем исследовании мы предложили физическое обоснование этого феномена, которое ранее в подобных работах не учитывалось [8, 9, 10].

Многие современные исследования указывают на достаточно высокие показатели электроодонтометрии интактных зубов, по сравнению с данными, представленными в учебной литературе. Также известно, что электровозбудимость многокорневых зубов (премоляров и моляров) отличается от таковой у резцов и клыков. Результаты нашего исследования подтверждают эти данные: с увеличением количества корней увеличивается количество корневых каналов и апикальных отверстий, а значит и суммарная площадь сообщения пульпы зуба с окружающими тканями. Следовательно, для достижения необходимой плотности тока в корневом канале потребуется большая сила диагностического тока [6, 13].

Некоторые источники сообщают об избирательном воздействии диагностического тока на миелинизированные А-волокна и немиелинизированные С-волокна пульпы. Считается, что аппараты для электротестирования, использующие в качестве стимула импульсный ток, стимулируют только миелинизированные А-волокна [14, 15]. Результаты нашего исследования указывают на необходимость достижения определенной плотности тока, не учитывая различия нервных элементов пульпы, так как результирующее действие тока направлено на сосудисто-нервный пучок зуба в совокупности. Необходимая плотность тока, в данном случае, для менее мощных аппаратов электротестирования может быть недостижима.

ВЫВОДЫ

Показатели электроодонтометрии (силы диагностического тока, вызывающей ответную реакцию у пациентов) зависят от конфигурации корневого канала, а именно – от площади поперечного сечения в наиболее узкой части корневого канала, где регистрируется максимальная плотность тока.

Плотность тока, при которой у пациентов возникает ответная реакция на электроодонтометрию, составляет 26-27 А/м².

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Makeeva, I.M. Endodontic treatment efficacy enhancement by means of instrumental physiotherapy. Stomatologiya (Mosk).2017;2: 17-19. <https://doi.org/10.17116/stomat201796217-19>.
2. Šimović M, Pavušek I, Ivanišević Malčić A, Jukić S, Prpić Mehčić G, Matijević J. Electric pulp test threshold responses in healthy incisors, canines, premolars and molars. Aust Endod J. 2018 Apr;44(1):54-59. <https://doi.org/10.1111/aej.12219>.
3. Федоринчик, О.В. Влияние размера пломбы из композита на показатели электроодонтометрии. Украинский стоматологический альманах.2013;5: 107-108.
4. Беккожина, Г.Р. Клинические и электрометрические показатели состояния пульпы зуба при кариесе дентина. Вестник хирургии Казахстана.2014;64-66.
5. Vemisetty, H. Evaluation of threshold response and appropriate electrode placement site for electric pulp testing in fluorosed anterior teeth: An in vivo study. Dent. Res. J. 2016;3:245-249. <https://doi.org/10.4103/1735-3327.182184>.
6. Николаев, А.И. Электроодонтодиагностика в современной стоматологии. Эндодонтия Today. 2015;2:38-42.
7. Рубин, Л.Р. Электроодонтодиагностика. Медицина.1976:136.
8. Younessian, F. The correlation between external apical root resorption and electric pulp test responses: a prospective clinical trial.

Dental Press J Orthod.2021; 26(3):219-229. <https://doi.org/10.1590/2177-6709.26.3.e2119389>

9. Nagarathna, C. Efficiency and reliability of thermal and electrical tests to evaluate pulp status in primary teeth with assessment of anxiety levels in children J. Clin. Pediatr. Dent.2015; 5: 447-451. <https://doi.org/10.17796/1053-4628-39.5.447>.
10. Hori, A. The ability of pulp sensibility tests to evaluate the pulp status in primary teeth. Int. J. Paediatr. Dent.2011;6: 441-445. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2011.01147.x>.
11. Петрикас, А.Ж. Феномен чувствительности дентальной пульпы при формировании постоянных зубов. Эндодонтия Today. 2020;18(4):14-19.
12. Sandrolini, L. Calculation of the currents generated in dental tissues by the application of an external electric field. Progress in electromagnetics research letters. 2013;42:141-154. <https://doi.org/10.1080/02656736.2021.1909758>.
13. Просветов Р.С. Особенности электровозбудимости пульпы зубов у студентов из разных регионов мира. Стоматология.2013;926:26-27.
14. Abd-Elmeguid, A. Dental pulp neurophysiology: part 1. Clinical and diagnostic implications. J Can Dent Assoc.2009; 75(1):55-59.
15. Макеева, И.М. Эффективность электроодонтодиагностики с помощью различных видов тока. Стоматология.2018; 97:34-37.

REFERENCES:

1. Makeeva, I.M. Endodontic treatment efficacy enhancement by means of instrumental physiotherapy. Stomatologiya (Mosk).2017;2: 17-19. <https://doi.org/10.17116/stomat201796217-19>.

2. Šimović M, Pavušek I, Ivanišević Malčić A, Jukić S, Prpić Mehčić G, Matijević J. Electric pulp test threshold responses in healthy incisors, canines, premolars and molars. Aust Endod J. 2018 Apr;44(1):54-59. <https://doi.org/10.1111/aej.12219>.

3. Fedorinchik, O.V. The influence of the size of the composite seal on the parameters of electroodontometry. Ukrainian Dental Almanac. – 2013;5: 107-108.
4. Bekkhozina, G.R. Clinical and electrometric indicators of the condition of the tooth pulp in dental caries. Bulletin of Surgery of Kazakhstan. 2014;64-66
5. Vemisetty, H. Evaluation of threshold response and appropriate electrode placement site for electric pulp testing in fluorosed anterior teeth: An in vivo study. Dent. Res. J. 2016;3:245-249. <https://doi.org/10.4103/1735-3327.182184>.
6. Nikolaev, A.I. Electrodontodiagnostics in modern dentistry. Endodontics Today. 2015;2:38-42.
7. Rubin, L.R. Electrodontodiagnostics. Medicine. 1976;136.
8. Younessian, F. The correlation between external apical root resorption and electric pulp test responses: a prospective clinical trial. Dental Press J Orthod. 2021; 26(3):219-229. <https://doi.org/10.1590/2177-6709.26.3.e2119389>
9. Nagarathna, C. Efficiency and reliability of thermal and electrical tests to evaluate pulp status in primary teeth with assessment of anxiety levels in children J. Clin. Pediatr. Dent. 2015; 5: 447-451. <https://doi.org/10.17796/1053-4628-39.5.447>.
10. Hori, A. The ability of pulp sensibility tests to evaluate the pulp status in primary teeth. Int. J. Paediatr. Dent. 2011;6: 441-445. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2011.01147.x>.
11. Petrikas, A.J. The phenomenon of sensitivity of the dental pulp in the formation of permanent teeth. Endodontics Today. 2020; 18(4):14-19. (In Russ).
12. Sandrolini, L. Calculation of the currents generated in dental tissues by the application of an external electric field. Progress in electromagnetics research letters. 2013;42:141-154. <https://doi.org/10.1080/02656736.2021.1909758>.
13. Prosvetov, R.S. Features of electrical excitability of dental pulp in students from different regions of the world. Stomatologija. 2013;926:26-27.
14. Abd-Elmeguid, A. Dental pulp neurophysiology: part 1. Clinical and diagnostic implications. J Can Dent Assoc. 2009; 75(1):55-59.
15. Makeeva, I.M. The effectiveness of electroodontodiagnostics using various types of current. Stomatologija. 2018;97:34-37. (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

- Петрикас А.Ж.*¹ – доктор медицинских наук, профессор кафедры терапевтической стоматологии.
- Честных Е.В.*¹ – кандидат медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой терапевтической стоматологии, ORCID ID: 0000-0003-1444-1731.
- Карпенков А.Ю.*² – доцент кафедры физики конденсированного состояния, заведующий лабораторией магнитных материалов ЦКП.
- Ларичкин И.О.*¹ – ассистент кафедры терапевтической стоматологии. ORCID ID: 0000-0001-8317-8100
- Дунаева Г.Г.*² – лаборант кафедры физики конденсированного состояния
- Медведев Д.В.*¹ – кандидат медицинских наук, доцент кафедры терапевтической стоматологии.
- Куликова К.В.*¹ – ассистент кафедры терапевтической стоматологии.

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. 170100, Россия, Тверь, ул. Советская, д. 4,

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный университет». 170100, Россия, Тверь, ул. Желябова д. 33

AUTHOR INFORMATION:

- Arnold Zh. Petrikas*¹ – Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Therapeutic Dentistry.
- Elena V. Chestnyh*¹ – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Therapeutic Dentistry, ORCID ID: 0000-0003-1444-1731.
- Aleksei Yu. Karpenkov*² – Associate Professor of the Department of Condensed Matter Physics, Head of the Laboratory of Magnetic Materials of the TSKP.
- Ilya O. Larichkin*¹ – Assistant of the Department of Therapeutic Dentistry, ORCID ID: 0000-0001-8317-8100.
- Galina G. Dunaeva*² – Laboratory assistant of the Department of Condensed Matter Physics.
- Denis V. Medvedev*¹ – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Therapeutic Dentistry.
- Kira V. Kulikova*¹ – Assistant of the Department of Therapeutic Dentistry.

¹Tver State Medical University, Sovetskaya str., 4, Tver, 170100, Russia

²Tver State University, Zhelyabova str., 33, Tver, 170100, Russia

ВКЛАД АВТОРОВ:

Петрикас А.Ж. – существенный вклад в замысел и дизайн исследования; подготовка статьи или ее критический пересмотр в части значимого интеллектуального содержания; окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

Честных Е.В. – подготовка статьи или ее критический пересмотр в части значимого интеллектуального содержания; окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

Карпенков А.Ю. – подготовка статьи или ее критический пересмотр в части значимого интеллектуального содержания; сбор данных или анализ и интерпретацию данных; окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

Ларичкин И.О. – существенный вклад в замысел и дизайн исследования; сбор данных или анализ и интерпретацию данных; подготовка статьи или ее критический пересмотр в части значимого интеллектуального содержания; окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

Дунаева Г.Г. – подготовка статьи или ее критический пересмотр в части значимого интеллектуального содержания; сбор данных или анализ и интерпретацию данных; окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

Медведев Д.В. – подготовка статьи или ее критический пересмотр в части значимого интеллектуального содержания; окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

Куликова К.В. – подготовка статьи или ее критический пересмотр в части значимого интеллектуального содержания; окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

AUTHOR'S CONTRIBUTION:

Arnold Zh. Petrikas – has made a substantial contribution to the concept or design of the article; drafted the article or revised it critically for important intellectual content; approved the version to be published.

Elena V. Chestnyh – drafted the article or revised it critically for important intellectual content; approved the version to be published.

Aleksei Yu. Karpenkov – drafted the article or revised it critically for important intellectual content; approved the version to be published.

Iliia O. Larichkin – has made a substantial contribution to the concept or design of the article; the acquisition, analysis, or interpretation of data for the article; drafted the article or revised it critically for important intellectual content; approved the version to be published.

Galina G. Dunaeva – drafted the article or revised it critically for important intellectual content; approved the version to be published.

Denis V. Medvedev – drafted the article or revised it critically for important intellectual content; approved the version to be published.

Kira V. Kulikova – drafted the article or revised it critically for important intellectual content; approved the version to be published.

Координаты для связи с авторами/ Correspondent author:

Ларичкин И.О. / Iliia O. Larichkin, E-mail: don.larichckin2013@yandex.ru, +79610180341