

УДК 615.472.2.07

DOI: <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ66803>

## Возможности 3D-моделирования на доклиническом этапе исследования корневой иглы

А. В. Кулигин, Л. Н. Казакова, О. С. Терещук✉, В. В. Боков

Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского, Саратов, Российская Федерация

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** До сегодняшнего дня остается актуальным вопрос качественной обработки корневых каналов (КК) в молочных и постоянных зубах. Сложные анатомические формы КК, наличие дельтовидных ответвлений затрудняют работу. Сочетание механической и медикаментозной обработки КК позволяет добиться стерильности полости зуба, что очень важно, особенно при развитии хронических периодонтитов. Однако, добиваясь стерильности при медикаментозной обработке, врачи сталкиваются с новой проблемой — как избежать повреждения тканей периодонта антисептиком при раскрытом апикальном отверстии. Технические характеристики эндодонтических игл, предлагаемых для использования на этом этапе, не позволяют решить эту проблему с высокой степенью эффективности. Большое количество отрицательных сторон, определяют необходимость поиска путей совершенствования конструкции эндодонтической иглы.

**Цель.** Определить оптимальные технические характеристики эндодонтических корневых игл и разработать новую конструкцию эндодонтической иглы, обеспечивающей равномерное орошение дельты КК с минимальной вероятностью повреждения периапикальных тканей.

**Материалы и методы.** Анализ показателей, влияющих на качество очищения КК при проектировании эндодонтической иглы с необходимыми техническими характеристиками проводился в программе Solid Works 16. Компьютерное моделирование биологической модели зуба с новой иглой проводилось в программе Solid Works Flow Simulation.

**Результаты.** Предложено усовершенствовать эндодонтическую корневую иглу методом компьютерного моделирования. Технический результат достигнут за счет придания конструкции всех положительных сторон аналогов, устраняя недостатки. Конструкция эндодонтической иглы содержит отверстия: 1 отверстие на кончике иглы и 168 отверстий, расположенных в шахматном порядке на боковой поверхности иглы. Все отверстия имеют одинаковый диаметр, равный 0,1 мм, что позволяет выровнять давление и снизить скорость центрального потока до скорости периферийных потоков, что обеспечивает равномерное орошение и минимизацию вероятности повреждения альвеолярного отростка.

**Заключение.** Новая модель эндодонтической иглы, имеющая 1 отверстие на кончике иглы и 168 отверстий, расположенных в шахматном порядке на боковой поверхности, обеспечивает равномерное орошение поверхности корневого канала по всему периметру с минимальной вероятностью повреждения периапикальных тканей даже при максимальной глубине введения иглы в КК.

**Ключевые слова:** *корневой канал; периапикальные ткани; эндодонтическая игла; медикаментозная обработка*

### Для цитирования:

Кулигин А.В., Казакова Л.Н., Терещук О.С., Боков В.В. Возможности 3D-моделирования на доклиническом этапе исследования корневой иглы // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. 2022. Т. 30, № 1. С. 95–100. DOI: <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ66803>

DOI: <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ66803>

# Potentials of 3D-Modeling in the Preclinical Stage of Root Needle Research

Aleksandr V. Kuligin, Larisa N. Kazakova, Oksana S. Tereshchuk✉, Vadim V. Bokov

Razumovsky Saratov State Medical University, Saratov, Russian Federation

## ABSTRACT

**INTRODUCTION:** At present, the issue of high-quality processing of the root canal (RC) of the deciduous and permanent teeth remains important. However, the procedure is hindered by the complex anatomical shape of the RC and a presence of deltoid branches. A combination of the mechanical and drug treatment of the RC allows achieving the sterility of the tooth cavity, which is very important in the development of chronic periodontitis. However, to achieve sterility during drug treatment, dentists face a new problem of how to avoid damage to periodontal tissues using an antiseptic agent with the apical foramen opened. The technical characteristics of endodontic needles available for use at this stage failed to effectively solve this problem. Thus, the multitude of issues substantiates the need to improve the design of endodontic needles.

**AIM:** To determine the optimal technical characteristics of endodontic root needles and to develop a new design of an endodontic needle that allows uniform irrigation of the RC delta with minimal probability of damaging the periapical tissues.

**MATERIALS AND METHODS:** In designing an endodontic needle with the required technical characteristics, parameters that influence the quality of cleaning the RC were analyzed in SolidWorks 16 program. Computer modeling of the biological tooth model was implemented in SolidWorks Flow Simulation program.

**RESULTS:** Computer modeling was used to improve the endodontic root needle. Technical results were achieved by incorporating in the design all the positive aspects of analogs and eliminating the disadvantages. The designed endodontic needle contained 1 hole on the tip and 168 holes arranged in a checker-wise manner on the lateral surface. All holes have the same diameter of 0.1 mm, which evens out the pressure, reduces the central flow rate to the rate of peripheral flows, ensures uniform irrigation, and minimizes the likelihood of damage to the alveolar process.

**CONCLUSION:** A new model of an endodontic needle with one hole on the tip and 168 holes arranged in a checker-wise manner on the lateral surface ensures uniform irrigation of the RC surface and the entire perimeter with minimal likelihood of damaging periapical tissues even with the maximal depth of insertion of the needle into the RC.

**Keywords:** root canal; periapical tissues; endodontic needle; drug treatment

## For citation:

Kuligin AV, Kazakova LN, Tereshchuk OS, Bokov VV. Potentials of 3D-Modeling in the Preclinical Stage of Root Needle Research. *I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2022;30(1):95–100. DOI: <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ66803>

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

КК — корневой канал  
ЭДИ — эндодонтическая игла

## ВВЕДЕНИЕ

Как лечить, чем лечить, как перелечивать? Это вопросы до сегодняшнего дня не потеряли своей актуальности, несмотря на создание современного оборудования, новых материалов, написания протоколов для обработки корневого канала (КК) [1]. Основная причина — сложная анатомия КК, морфологические и гистологические особенности тканей, формирующих данный орган. Эффективность лечения пульпитов и периодонтитов имеет прямую зависимость от последовательности действий во время обработки КК. Первым этапом осторожно удаляются все инфицированные ткани из просвета КК под ванночкой антисептика, избегая по возможности проталкивания содержимого за апекс. Вторым этапом механически удаляют инфицированную ткань со стенок КК эндодонтическими инструментами. При удалении часть стружки остается на стенках и в просвете КК. Следующим этапом — медикаментозной обработкой — очищают дельту КК от стружки, микроорганизмов, смазанного слоя [2–4].

Долгое время самым распространенным способом доставки антисептика в КК при медикаментозной обработке было использование турунды на жестком основании — на корневых иглах. Турунды вводили многократно, выбор антисептика зависел от диагноза. На сегодняшний день получил распространение другой способ доставки антисептика — с помощью эндодонтических корневых игл. Это позволяет за короткий промежуток времени ввести в КК значительное по объему количество антисептика.

Ассортимент эндодонтических игл (ЭДИ) на рынке многообразен. Каждая имеет свои параметры, они отличаются по длине, диаметру, внешнему виду, материалу из которого изготовлены. Знание методики работы и правильно обоснованный выбор инструмента для лечения

осложненного кариеса влияют на результат лечения [1, 5].

**Цель** — определить оптимальные технические характеристики эндодонтических корневых игл и разработать новую конструкцию эндодонтической иглы, обеспечивающей равномерное орошение дельты корневого канала с минимальной вероятностью повреждения периапикальных тканей.

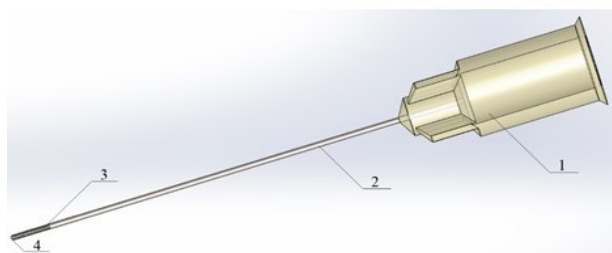
## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Анализ показателей, влияющих на качество очищения корневого канала при проектировании эндодонтической иглы с необходимыми техническими характеристиками проводился в программе Solid Works 16. Компьютерное моделирование биологической модели зуба с новой иглой проводилось в программе Solid Works Flow Simulation.

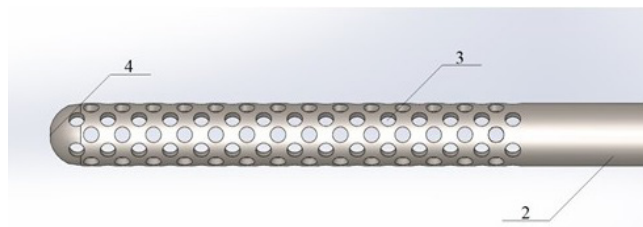
## РЕЗУЛЬТАТЫ

Технический результат достигнут за счет придания конструкции всех положительных сторон аналогов, устраняя недостатки. Конструкция ЭДИ содержит отверстия: одно отверстие на кончике иглы и 168 отверстий, расположенных в шахматном порядке на боковой поверхности иглы. Все отверстия имеют одинаковый диаметр, равный 0,1 мм, что позволяет выровнять давление и снизить скорость центрального потока до скорости периферийных потоков, что обеспечивает равномерное орошение и минимизацию вероятности повреждения альвеолярного отростка.

Сущность разработанной модели ЭДИ для проведения антисептической обработки корневого канала поясняется рисунках 1 и 2.



**Рис. 1.** Модернизированная эндодонтическая игла: 1 — канюля; 2 — тело иглы; 3 — боковые отверстия; 4 — отверстие на кончике.



**Рис. 2.** 3D-модель тела иглы с точным расположением отверстий: 3 — боковых отверстий, 4 — отверстие на кончике иглы, фронтальный вид.

Основная функция ЭДИ — доставить антисептик в КК в определенном объеме и *качественно обработать его, не повреждая ткани периодонта*. Учитывая все

возможные параметры при антисептической обработке КК: скорость введения, глубину введения эндодонтической иглы в КК, объем антисептика, форму и объем КК,

— нами проведен анализ результатов моделирования биологической модели зуба с новой ЭДИ в программе Solid Works Flow Simulation в сравнении с существующими вариантами корневых игл и получен следующий результат (табл. 1). При введении эндодонтической

корневой иглы на 1/3 длины КК, при средней и максимальной скорости потока (5 мм/с, 9 мм/с) глубина проникновения раствора за апикальное отверстие зуба 0 мм (эффективность высокая), но плотность орошения нижней трети КК минимальная.

**Таблица 1.** Результаты исследования эффективности известной и модернизированной модели иглы на основании моделирования биологической модели зуба в программе Solid Works Flow Simulation

Параметры	Известная модель	Модернизированная модель
Линейная скорость потока в игле, мм/с	7–8	6–7
Линейная скорость потока в корневом канале, мм/с	5–6	3–4
Угол орошения ирриганта (с учетом всех отверстий иглы), °	45–60	360
Состояние периапикальных тканей	повреждены	не повреждены

При введении ЭДИ на 2/3 длины КК при средней и максимальной скорости потока: 5 и 9 мм/с, — глубина проникновения раствора за апикальное отверстие зуба составляет 0 мм (*эффективность высокая*), но плотность орошения нижней трети корневого канала — *средняя*. При введении ЭДИ в КК не доходя 3 мм до физиологического отверстия при средней и максимальной скорости потока: 5 и 9 мм/с, — глубина проникновения раствора за апикальное отверстие зуба составляет 0 мм (*эффективность высокая*), плотность орошения нижней трети корневого канала — *высокая*. Анализ данных таблицы 1 свидетельствует о *преимуществах разработанной конструкции ЭДИ*.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ литературы показал, что ЭДИ для ручной ирригации делятся на 2 группы: *открытые* и *закрытые*. У открытых ЭДИ кончик заканчивается отверстием, у ЭДИ второго типа он слепо закрыт, отверстия расположены на боковой поверхности ЭДИ. Открытые ЭДИ заканчиваются плоским, скошенным или зубчатым апикальным концом, а закрытые предлагаются с односторонней вентиляцией, двухсторонней вентиляцией и мультивентилируемые [5, 6].

Открытые иглы, в отличие от закрытых, лучше омывают апикальную часть КК, но при их использовании возникает довольно высокий риск выведения раствора в периапикальные ткани из-за сильного увеличения давления, а слепые иглы имеют обратно пропорциональные свойства. Скошенная игла является самой опасной в своем типе из-за риска травмы и заклинивания. Также недавно предложили улучшать мультивентилируемые иглы, создавая на их слепом кончике выступ высотой 0,03 мм или ямочку глубиной 0,04 мм для контроля потока. Существуют различные мнения об эффективности применяемых игл: ряд авторов в своих исследованиях не выявили существенных различий в эффективности одно- и двухсторонне вентилируемых ЭДИ [6–8]. Другие сообщают о большей эффективности

ЭДИ с односторонней вентиляцией [7, 9–11].

Качественная медикаментозная обработка КК зависит от многих факторов. Большое внимание исследователями уделяется глубине введения ЭДИ. E. Uzunoglu–Özyürek, et al. (2018), как и большинство исследователей, рассматривали 2 уровня введения: *на 1 мм и на 3 мм меньше рабочей длины* [12]. Анализ их результатов показывает, что открытые иглы можно вводить на 3 мм меньше рабочей длины, закрытые — на 1 мм меньше рабочей длины для увеличения эффективности обработки апикальной трети.

Не менее важно определение адекватного давления для создания оптимальной скорости потока при орошении стенок КК и активного замещения объема раствора антисептика новым объемом, без повреждения периапикальных тканей [13, 14]. Слишком высокое давление может привести к повреждению тканей периодонта не только «воздушным пузырем», образующимся около апикального отверстия из-за поверхностного натяжения раствора, но и последующим выведением самого ирриганта. В основе ирригации КК лежит закон Паскаля, по которому давление равняется отношению силы к площади поверхности. Согласно исследованиям С. Boutsioukis, et al., на прилагаемую врачами силу для создания оптимального давления влияло множество факторов: пол врача, опыт работы, тип канала, материал шприца, диаметр иглы, ее тип. Поэтому, *нельзя говорить о каком-то точном универсальном значении давления, которое создается в цилиндре шприца*. Чаще всего оно рассматривается в диапазоне 400–550 кПа, вследствие этого и скорость потока ирриганта различна [5, 15]. Скорость потока раствора, равная > 0,1 м/с, была принята как желаемая для оптимальной ирригации тканей и обмена раствора в канале. Скорость потока, выходящего из отверстий в иглах, снижается в 5–10 раз, что влияет на глубину обмена раствора от кончика иглы. Сам поток может очищать стенки КК большой площади механически под давлением через перфорационные отверстия игл или за счет простого заполнения канала ирригантом. Исследования

показали лучшую степень очищения при прямом попадании потока на стенки канала под давлением, чем при простом заполнении [6, 13, 16, 17].

Помимо скорости на глубину обмена также влияет и направление потока, создаваемое при использовании ЭДИ различных групп. У открытых игл поток направлен в сторону верхушки корня, а у закрытых — в сторону стен. Боковое направление потока позволяет механически хорошо очищать стенки, а апикальное — лучше совершать обмен раствора на глубине [6, 15]. По глубине обмена наилучшие показатели имели плоская, скошенная и зубчатая ЭДИ, доставляющая «новый» раствор на глубину до 2,5 мм от кончика иглы, тогда как односторонне вентилируемая и двухсторонне вентилируемая иглы показали более низкий результат — до 1,5 мм (мультивентилируемая игла — до 1 мм). Исходя из этих данных становится ясно, что *открытые иглы хорошо доставляют ирригант на глубину, но повышают риск повреждения периапикальных тканей*, поэтому чтобы предотвратить повреждение, стоит пользоваться мультивентилируемой иглой [6, 15].

C. Boutsoukis, et al. при исследовании ЭДИ отметили, что давление, создаваемое потоком открытых игл в апикальной трети канала 30 размера и конусностью 2%, равнялось в среднем около 400 кПа, закрытых — около 120 кПа [5, 15]. Эти значения подтверждают опасность использования игл открытого типа [5, 15, 16]. Ручная ирригация позволяет удовлетворительно орошать верхнюю и среднюю часть КК, но недостаточно — апикальную треть. Происходит это из-за поверхностного натяжения раствора, что позволяет образоваться «воздушному пузырю».

По результатам анализа положительных и отрицательных сторон ЭДИ, нами предложено усовершенствовать ЭДИ методом компьютерного моделирования. При этом, были учтены все показатели, влияющие

на качество очищения КК, анализ которых позволил спроектировать корневую иглу с необходимыми техническими характеристиками [18–20].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новая модель эндодонтической иглы, имеющая одно отверстие на кончике иглы и 168 отверстий, расположенных в шахматном порядке на боковой поверхности, обеспечивает равномерное орошение поверхности корневого канала по всему периметру с минимальной вероятностью повреждения периапикальных тканей даже при максимальной глубине введения иглы в корневой канал.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНО

**Финансирование.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов:** Кулигин А. В. — концепция и дизайн исследования, редактирование, Казакова Л. Н. — сбор и обработка материала, написание текста, редактирование, Терещук О. С. — сбор и обработка материала, написание текста, Боков В. В. — сбор и обработка материала, статистическая обработка. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

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

**Conflict of interests.** The authors declare no conflicts of interests.

**Contribution of the authors:** A. V. Kuligin — concept and design of the study, editing, L. N. Kazakova — collection and processing of the material, writing the text, editing, O. S. Tereshchuk — collection and processing of the material, writing the text, V. V. Bokov — collection and processing of the material, statistical processing. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сорокоумова Д.В., Лаптева К.А., Шабалина Д.С. и др. Оценка эффективности применения различных протоколов удаления смазанного слоя на этапе финишной ирригации корневого канала // Вестник уральской медицинской академической науки. 2018. Т. 15, № 5. С. 677–684. doi: [10.22138/2500-0918-2018-15-5-677-683](https://doi.org/10.22138/2500-0918-2018-15-5-677-683)
2. Болячин А.В. Основные принципы и методики ирригации системы корневого канала в эндодонтии // Клиническая эндодонтия. 2008. № 1–2. С. 45–51.
3. Болячин А.В., Беляева Т. Ирригация системы корневого канала: современные принципы и методики // ДентАрт. 2010. № 1. С. 19–22.
4. Гатина Э.Н., Егорова Г.Р., Фазылова Ю.В. Современные возможности ирригации корневых каналов // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 631–635.
5. Boutsoukis C., Lambrianidis T., Kastrinakis E., et al. Measurement of pressure and flow rates during irrigation of a root canal ex vivo with three endodontic needles // International Endodontic Journal. 2007. Vol. 40, № 7. P. 504–513. doi: [10.1111/j.1365-2591.2007.01244.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2007.01244.x)
6. Boutsoukis C., Verhaagen B., Versluis M., et al. Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady computational fluid dynamics model // Journal of Endodontics. 2010. Vol. 36, № 5. P. 875–879. doi: [10.1016/j.joen.2009.12.026](https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.12.026)
7. Karpagam G.N., Raj J.D. Types of needles used in the irrigation of root canal system — A review // Drug Invention Today. 2018. Vol. 10, № S3. P. 3381–3385.
8. Li P., Zhang D., Xie Y., et al. Numerical investigation of root canal irrigation adopting innovative needles with dimple and protrusion // Acta of Bioengineering and Biomechanics. 2013. Vol. 15, № 1. P. 43–50. doi: [10.5277/abb130106](https://doi.org/10.5277/abb130106)
9. Seven N., Cora S. Effectiveness of different irrigation systems in the presence of intracanal-separated file // Microscopy Research & Technique. 2019. Vol. 82, № 3. P. 238–243. doi: [10.1002/jemt.23165](https://doi.org/10.1002/jemt.23165)
10. Shen Y., Gao Y., Qian W., et al. Three-dimensional numeric simulation of root canal irrigant flow with different irrigation needles // Journal of Endodontics. 2010. Vol. 36, № 5. P. 884–889. doi: [10.1016/j.joen.2009.12.010](https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.12.010)
11. Guerreiro-Tanomaru J.M., Lioi L.E., Morgenta R.D., et al. Efficacy of Four Irrigation Needles in Cleaning the Apical Third of Root Canals // Brazilian Dental Journal. 2013. Vol. 24, № 1. P. 21–24. doi: [10.1590/0103-6440201302153](https://doi.org/10.1590/0103-6440201302153)
12. Uzunoglu-Özyürek E., Karaaslan H., Türker S.A., et al. Influence of size and insertion depth of irrigation needle on debris extrusion and sealer penetration // Restorative Dentistry & Endodontics. 2018. Vol. 43, № 1. P. 9–18. doi: [10.5395/rde.2018.43.e2](https://doi.org/10.5395/rde.2018.43.e2)

13. Huang Q., Barnes J.B., Schoeffe G.J., et al. Effect of Canal Anastomosis on Periapical Fluid Pressure Build-up during Needle Irrigation in Single Roots with Double Canals using a Polycarbonate Model // *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7, № 1. P. 1582. doi: [10.1038/s41598-017-01697-1](https://doi.org/10.1038/s41598-017-01697-1)
14. Mohammed S.A., Vianna M.E., Penny M.R., et al. The effect of sodium hypochlorite concentration and irrigation needle extension on biofilm removal from a simulated root canal model // *Australian Endodontic Journal*. 2017. Vol. 43, № 3. P. 102–109. doi: [10.1111/aej.12203](https://doi.org/10.1111/aej.12203)
15. Boutsoukis C., Gogos C., Verhaagen B., et al. The effect of root canal taper on the irrigant flow: evaluation using an unsteady Computational Fluid Dynamics model // *International Endodontic Journal*. 2010. Vol. 43, № 10. P. 909–916. doi: [10.1111/j.1365-2591.2010.01767.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2010.01767.x)
16. Pereira T.C., Dijkstra R.J.B., Petridis X., et al. The influence of time and irrigant refreshment on biofilm removal from lateral morphological features of simulated root canals // *International Endodontic Journal*. 2020. Vol. 53,

- № 12. P. 1705–1714. doi: [10.1111/iej.13342](https://doi.org/10.1111/iej.13342)
17. Shalan L.A., Al-Huwaizi H.F., Fatalla A.A., et al. Intra-canal Pressure Produced by Three Irrigation System: A Comparative Study // *Journal of Research in Medical and Dental Science*. 2018. Vol. 6, № 5. P. 161–164.
18. Perez R., Neves A.A., Belladonna F.G., et al. Impact of needle insertion depth on the removal of hard-tissue debris // *International Endodontic Journal*. 2017. Vol. 50, № 6. P. 560–568. doi: [10.1111/iej.12648](https://doi.org/10.1111/iej.12648)
19. Topçuoğlu G., Topçuoğlu H.S., Delikan E., et al. The effect of two different irrigation needles on post-operative pain after pulpectomy in primary molar teeth: A randomized clinical study // *International Journal of Pediatric Dentistry*. 2020. Vol. 30, № 6. P. 758–763. doi: [10.1111/ipd.12652](https://doi.org/10.1111/ipd.12652)
20. Loroño G., Zaldivar J.R., Arias A., et al. Positive and negative pressure irrigation in oval root canals with apical ramifications: a computational fluid dynamics evaluation in micro-CT scanned real teeth // *International Endodontic Journal*. 2020. Vol. 53, № 5. P. 671–679. doi: [10.1111/iej.13260](https://doi.org/10.1111/iej.13260)

## REFERENCES

1. Sorokoumova DV, Lapteva KA, Shabalina DS, et al. Efficiency evaluation of different protocols for removal of smear layer at the stage finish irrigation of the root canal. *Journal of Ural Medical Academic Science*. 2018;15(5):677–83. (In Russ). doi: [10.22138/2500-0918-2018-15-5-677-683](https://doi.org/10.22138/2500-0918-2018-15-5-677-683)
2. Bolyachin AV. Osnovnyye printsiy i metodiki irrigatsii sistemy kornevogo kanala v endodontii. *Klinicheskaya Endodontiya*. 2008;(1–2):45–51. (In Russ).
3. Bolyachin AV, Belyayeva T. Irrigatsiya sistemy kornevogo kanala: sovremennyye printsiy i metodiki. *DentArt*. 2010;(1):19–22. (In Russ).
4. Gatina EN, Egorova GR, Fazylova YuV. Sovremennyye vozmozhnosti irrigatsii kornevykh kanalov. *Young Scientist*. 2015;(11):631–5. (In Russ).
5. Boutsoukis C, Lambrianidis T, Kastrinakis E, et al. Measurement of pressure and flow rates during irrigation of a root canal ex vivo with three endodontic needles. *International Endodontic Journal*. 2007;40(7):504–13. doi: [10.1111/j.1365-2591.2007.01244.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2007.01244.x)
6. Boutsoukis C., Verhaagen B., Versluis M., et al. Evaluation of Irrigant Flow in the Root Canal Using Different Needle Types by an Unsteady Computational Fluid Dynamics Model. *Journal of Endodontics*. 2010;36(5):875–9. doi: [10.1016/j.joen.2009.12.026](https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.12.026)
7. Karpagam GN, Raj JD. Types of needles used in the irrigation of root canal system — A review. *Drug Invention Today*. 2018;10(S3):3381–5.
8. Li P, Zhang D, Xie Y, et al. Numerical investigation of root canal irrigation adopting innovative needles with dimple and protrusion. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*. 2013;15(1):43–50. doi: [10.5277/abb130106](https://doi.org/10.5277/abb130106)
9. Seven N, Cora S. Effectiveness of different irrigation systems in the presence of intracanal-separated file. *Microscopy Research & Technique*. 2019;82(3):238–43. doi: [10.1002/jemt.23165](https://doi.org/10.1002/jemt.23165)
10. Shen Y, Gao Y, Qian W, et al. Three-dimensional numeric simulation of root canal irrigant flow with different irrigation needles. *Journal of Endodontics*. 2010;36(5):884–9. doi: [10.1016/j.joen.2009.12.010](https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.12.010)
11. Guerreiro-Tanomaru JM, Lioioli LE, Morgenta RD, et al. Efficacy of Four Irrigation Needles in Cleaning the Apical Third of Root Canals. *Brazilian Dental Journal*. 2013;24(1):21–4. doi: [10.1590/0103-6440201302153](https://doi.org/10.1590/0103-6440201302153)

12. Uzunoglu-Özyürek E, Karaaslan H, Türker SA, et al. Influence of size and insertion depth of irrigation needle on debris extrusion and sealer penetration. *Restorative Dentistry & Endodontics*. 2018;43(1):9–18. doi: [10.5395/rde.2018.43.e2](https://doi.org/10.5395/rde.2018.43.e2)
13. Huang Q, Barnes JB, Schoeffe GJ, et al. Effect of Canal Anastomosis on Periapical Fluid Pressure Build-up during Needle Irrigation in Single Roots with Double Canals using a Polycarbonate Model. *Scientific Reports*. 2017;7(1):1582. doi: [10.1038/s41598-017-01697-1](https://doi.org/10.1038/s41598-017-01697-1)
14. Mohammed SA, Vianna ME, Penny MR, et al. The effect of sodium hypochlorite concentration and irrigation needle extension on biofilm removal from a simulated root canal model. *Australian Endodontic Journal*. 2017;43(3):102–9. doi: [10.1111/aej.12203](https://doi.org/10.1111/aej.12203)
15. Boutsoukis C, Gogos C, Verhaagen B, et al. The effect of root canal taper on the irrigant flow: evaluation using an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *International Endodontic Journal*. 2010;43(10):909–16. doi: [10.1111/j.1365-2591.2010.01767.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2010.01767.x)
16. Pereira TC, Dijkstra RJB, Petridis X, et al. The influence of time and irrigant refreshment on biofilm removal from lateral morphological features of simulated root canals. *International Endodontic Journal*. 2020;53(12):1705–14. doi: [10.1111/iej.13342](https://doi.org/10.1111/iej.13342)
17. Shalan LA, Al-Huwaizi HF, Fatalla AA, et al. Intra-canal Pressure Produced by Three Irrigation System: A Comparative Study. *Journal of Research in Medical and Dental Science*. 2018;6(5):161–4.
18. Perez R, Neves AA, Belladonna FG, et al. Impact of needle insertion depth on the removal of hard-tissue debris. *International Endodontic Journal*. 2017;50(6):560–8. doi: [10.1111/iej.12648](https://doi.org/10.1111/iej.12648)
19. Topçuoğlu G, Topçuoğlu HS, Delikan E, et al. The effect of two different irrigation needles on post-operative pain after pulpectomy in primary molar teeth: A randomized clinical study. *International Journal of Paediatric Dentistry*. 2020;30(6):758–63. doi: [10.1111/ipd.12652](https://doi.org/10.1111/ipd.12652)
20. Loroño G, Zaldivar JR, Arias A, et al. Positive and negative pressure irrigation in oval root canals with apical ramifications: a computational fluid dynamics evaluation in micro-CT scanned real teeth. *International Endodontic Journal*. 2020;53(5):671–9. doi: [10.1111/iej.13260](https://doi.org/10.1111/iej.13260)

## ОБ АВТОРАХ

**Кулигин Александр Валерьевич**, д.м.н., профессор;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5705-215X>;  
eLibrary SPIN: 5047-3702; e-mail: [avkuligin@yandex.ru](mailto:avkuligin@yandex.ru)

**Казакова Лариса Николаевна**, к.м.н., доцент;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8060-1348>;  
eLibrary SPIN: 1535-4928; e-mail: [klarisa.2020@bk.ru](mailto:klarisa.2020@bk.ru)

\***Терещук Оксана Сергеевна**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4917-797X>;  
eLibrary SPIN: 2623-73316; e-mail: [kleo.ok@yandex.ru](mailto:kleo.ok@yandex.ru)

**Бокон Вадим Валерьевич**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2059-8321>;  
e-mail: [vadim.bokov@mail.ru](mailto:vadim.bokov@mail.ru)

## AUTHOR'S INFO

**Aleksandr V. Kuligin**, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5705-215X>;  
eLibrary SPIN: 5047-3702; e-mail: [avkuligin@yandex.ru](mailto:avkuligin@yandex.ru)

**Larisa N. Kazakova**, MD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8060-1348>;  
eLibrary SPIN: 1535-4928; e-mail: [klarisa.2020@bk.ru](mailto:klarisa.2020@bk.ru)

\***Oksana S. Tereshchuk**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4917-797X>;  
eLibrary SPIN: 2623-73316; e-mail: [kleo.ok@yandex.ru](mailto:kleo.ok@yandex.ru)

**Vadim V. Bokov**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2059-8321>;  
e-mail: [vadim.bokov@mail.ru](mailto:vadim.bokov@mail.ru)

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author