



Активация ирригационных растворов в эндодонтической практике

Геранин Станислав

«Не так важно, что Вы внесли в корневой канал. Намного важнее, что Вы оттуда убрали»

H. Schilder, «Pathways of the pulp», 1984

Очистка корневого канала в процессе ирригации, удаление остатков пульпы, микроорганизмов, микробных токсинов является одним из важнейших факторов в профилактике и лечении эндодонтической патологии. Применяя механическую обработку, невозможно очистить корневой канал полностью из-за его сложной морфологии (рис. 1). Даже при использовании современных машинных никель-титановых инструментов обрабатывается лишь часть канала и остаются необработанными до 40% его поверхности (рис. 2). Эти зоны могут со временем держать опилки, микробные ассоциации и продукты их жизнедеятельности, которые в свою очередь могут повлиять на качественную адаптацию obturационного материала и приводить к развитию хронического периадикулярного воспаления (рис. 3). Вот почему ирригация является неотъемлемой частью обработки корневого канала: она позволяет очистить корневой канал лучше, чем одна инструментация.

Более 50 лет тому назад были сформулированы свойства идеального ирригационного раствора. Он должен:

- обеспечивать качественное промывание (удаление опилок и содержимого корневого канала);
- снижать трение инструмента в процессе препарирования (лубрикант);
- облегчать удаление дентина (лубрикант);
- растворять неорганическую субстанцию (дентин);
- проникать в периферические отделы канала;
- растворять органическую ткань (коллаген дентина, ткань пульпы, биопленку);
- уничтожать бактерии и грибы (также и в биопленке);
- не вызывать раздражения и повреждения живых тканей в периапикальной зоне;
- не обладать цитотоксическим действием;
- не ослаблять ткани зуба

К сожалению, на сегодняшний день ни один из растворов не соответствует всем параметрам идеального ирриганта, даже при использовании таких методов, как снижение pH,¹⁶ повышение температуры,^{18 19} а также добавление сурфактантов для увеличения смачивающей эффективности ирриганта.²⁰ В современной эндодонтической практике основными ирригационными растворами являются гипохлорит натрия (NaOCl), этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА) и хлоргексидин (СНХ)²¹ (рис. 4). Для максимального эффекта эти растворы должны находиться в непосредственном контакте со всей поверхностью канала, особенно в апикальной части узких корневых каналов (рис. 5).

В попытке получить максимальную эффективность ирригационных растворов применяются различные способы.

Нагревание раствора гипохлорита натрия значительно усиливает растворяющую активность ирриганта²³. Камбурис и соавт. (Kamburis et al.) показали, что подогретый гипохлорит натрия более эффективен при растворении органической субстанции по сравнению с неподогретым в той же концентрации. Важен тот факт, что стабильность подогретого до 37°C раствора гипохлорита натрия с неизменным количеством хлора сохраняется в течение 4 часов, а при нагревании до 45-60°C —

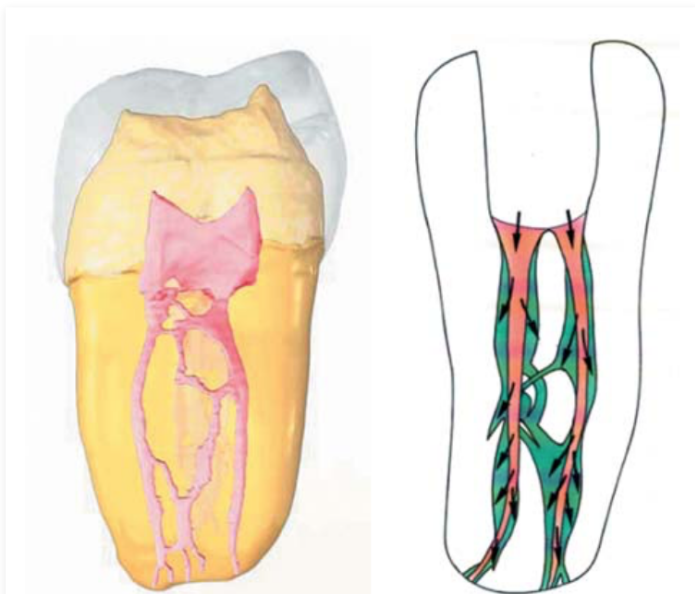


Рис. 1. Анатомия моляра нижней челюсти.
Чарльз Дж. Гудис (Charles J. Goodis).

Рис. 2. Схематическое изображение системы
корневых каналов до и после
инструментальной обработки. К. Гулабивала
(K. Gulabivala), 2005.

в течение часа.²⁵ Таким образом, при нагревании свежего раствора его следует применять в течение 1,5 часов.

Активация влияет также и на растворяющую способность гипохлорита натрия (рис. 6). Водный раствор гипохлорита натрия — это динамическое равновесие гидроксида натрия и хлорноватистой кислоты. Когда гипохлорит натрия

контактирует с органической тканью, гидроксид натрия реагирует с жирными кислотами, образуя мыло и глицерол, что известно как реакция омыления. Он также реагирует с аминокислотами, образуя соль и воду (нейтрализация). Также хлорноватистая кислота реагирует с аминокислотами с образованием хлорамина и воды. Эти реакции, которые происходят в основном на поверхности, приводят к разжижению органической ткани. В то же время, вступая в реакцию, молекулы

гипохлорита натрия инактивируются, что приводит к снижению локальной активности. Поэтому для удаления остатков нерастворенных тканей необходимо чаще заменять раствор на активный.

На протяжении всей истории эндодонтии проводилось множество исследований, целью которых была разработка более эффективной системы для ирригации и активации растворов.

Эти системы можно разделить на 2 группы: мануальные методики активации и машинные системы (табл. 1).

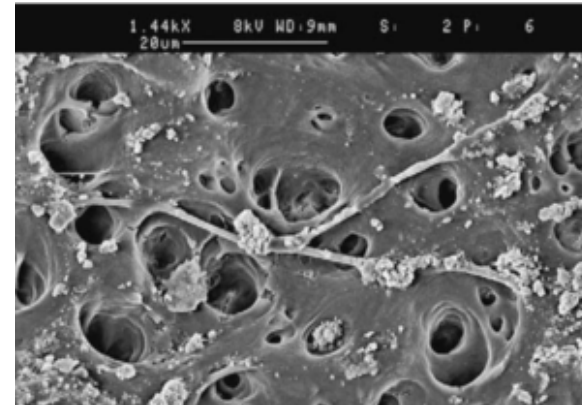


Рис. 3. СЭМ стенки корня зуба, не обработанной инструментально. М. Хаапсало (M. Haapasalo), 2010.



Рис. 5. Гистологический разрез премоляра верхней челюсти. Основные каналы обработаны инструментально. Латеральное ответвление очищено раствором гипохлорита натрия

(доктор Гери Грей, Гринбрай) (Dr. Gery Grey,
Greenbrae).

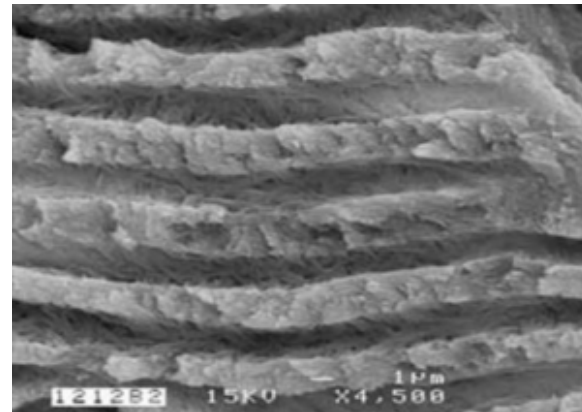


Рис. 6. СЭМ очищенных дентинных
канальцев.

Джеффри Л. Хокет и Нестор Коенца (Dr.
Jeffrey L. Hockett, Dr. Nestor Cohenca).

Табл. 1. Различные техники и устройства, используемые для очистки корневых каналов

Техника и устройства для активации ирригационного раствора								
Мануальные			Машинные					
Шприц и эндоиглы	Щетки	Мануально- динамическая	Пассивная и под давлением	Ультразвуковая		Звуковая	Непрерывная при ротационной инструментации	Ротационные щетки
				Промежуточная	Непрерывная			

Journal of Endodontics, 35, Gu L, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR et al, Review of Contemporary Irrigant Agitation Techniques and Devices, 792, 2009.

Мануальная техника активации

Классическая техника

Традиционное промывание с использованием шприца считалось эффективным методом введения ирриганта до появления пассивной ультразвуковой активации.²⁸ Данная техника до сих пор широко используется как врачами общей практики, так и эндодонтистами. Техника подразумевает введение ирриганта в канал с использованием игл различного калибра, как пас сивно, так и с активацией (рис. 7). Последняя достигается путем возвратно поступательных движений иглы в корневом канале. Одни иглы имеют отверстие на кончике, у других отверстия располагаются сбоку при закрытой верхушке. Такой дизайн игл с боковым отверстием был разработан для улучшения гидродинамической активации ирриганта и снижения риска заапикальной экструзии.³⁰ При ирригации очень важно, чтобы игла свободно находилась в канале. Это позволяет вымывать опилки из канала коронально, предотвращая случайное выведение ирриганта в периапикальные ткани. Одним из преимуществ ирригации шприцем является сравнительно легкий контроль глубины

введения иглы и объема раствора в канале. Наиболее часто для ирригации используются пластиковые шприцы различных размеров (1–20 мл). Шприцы больших объемов уменьшают время работы, однако в то же время затрудняют контроль давления, что может приводить к осложнениям. Поэтому для максимальной безопасности и контроля следует использовать шприцы объемом 1–5 мл. Немаловажным является и дизайн эндоиглы. До недавнего времени для ирригации чаще всего использовались иглы 25-го калибра. Сейчас в ежедневной практике используются иглы 27-го, 30-го и даже 31-го калибра. Согласно международному стандарту ISO, 27G соответствует 0,42 мм, а 30G — 0,31 мм, что более предпочтительно (табл. 2). Исследования показывают, что ирригант имеет ограниченный эффект за пределами иглы вследствие наличия т.н. «мертвой зоны» либо образования воздушного пузырька, снижающих проникновение раствора в апикальную зону. Были разработаны различные модификации кончика иглы для улучшения эффективности промывания и снижения риска осложнений при ирригации.

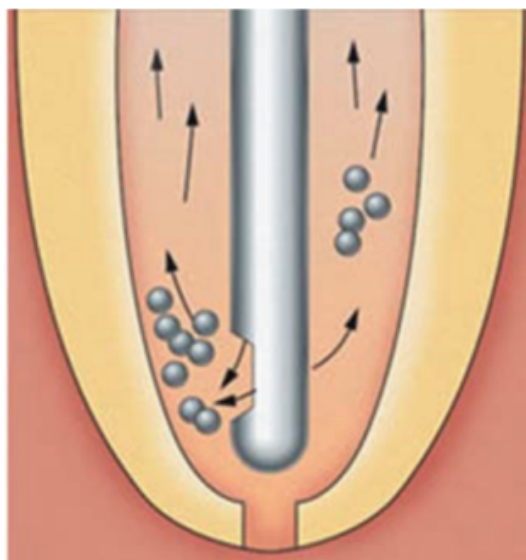


Рис. 7. Классическая техника ирригации корневого канала с использованием шприца и эндоиглы.

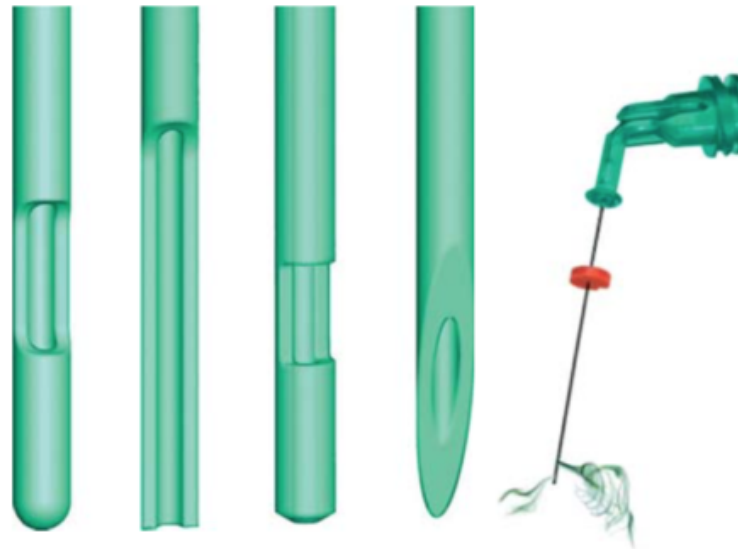


Рис. 8. Различный дизайн кончика эндодонтических игл.

Таблица 2. Соответствие калибра эндодонтической иглы метрической системе. Стандарты ISO9626:1991/Amd.1:2001 (ISO 9626 2001).

Калибр	Размер (мм)	Наружный диаметр (мм)		Внутренний диаметр (мм)
		Миним.	Макс.	Миним.
21	0.8	0.800	0.830	0.490
23	0.6	0.600	0.673	0.317
25	0.5	0.500	0.530	0.232
27	0.4	0.400	0.420	0.184
30	0.3	0.298	0.320	0.133
31	0.28	0.277	0.282	0.128

К сожалению, промывание корневого канала с использованием шприца не дает желаемого эффекта. После такой ирригации недоступные зоны в канале (латеральные ответвления, поднутрения) остаются заполненными опилками и бактериями. Обычно ирригационный раствор проникает на 1 мм глубже, чем уровень введения иглы. Это создает определенные сложности в

ирригации, так как кончик иглы находится либо в корональной части узких каналов, либо, в лучшем случае, в средней трети широких каналов. Поэтому глубина проникновения ирригационного раствора и его способность дезинфицировать дентинные каналы ограничена. Даже при ирригации ЭДТА и гипохлоритом натрия с использованием эндоиглы с боковым отверстием, которую вводят на 1 мм короче рабочей длины, в апикальной части все равно остаются зоны со смазанным слоем. Авторы указывают на то, что эффективная ирригация может проводиться при расширении апикальной части корневого канала до размера 40 и более. К сожалению, избыточное расширение канала может привести к ослаблению структур корня зуба. Факторами, которые могут улучшить эффективность ирригации шприцем, являются расположение иглы близко к апексу, увеличение объема ирриганта и использование эндоигл малого калибра. К сожалению, введение в корневой канал игл с меньшим калибром близко к апексу повышает риск экструзии ирриганта. Медленное введение ирриганта (3 мл/мин) и возвратно поступательные движения значительно снижают риски осложнений при использовании гипохлорита натрия.

Мануально динамическая ирригация

Для максимальной эффективности ирригант должен находиться в непосредственном контакте со стенками канала. Однако зачастую сложно доставить ирригационный раствор в апикальную зону канала вследствие т.н. эффекта воздушной пробки.⁴¹ Исследования показывают, что возвратно поступательные движения конусной гуттаперчи (мануально динамическая ирригация) в пределах инструментально обработанного канала производят гидродинамический эффект и значительно улучшают перемещение и замену ирриганта.⁴² Эффективность данной методики определяется следующими факторами⁴³:

- 1) возвратно поступательные движения конусной гуттаперчи создают высокое внутриканальное давление при введении штифта в канал, что ведет к более эффективной доставке ирриганта к «нетронутым» поверхностям канала;
- 2) частота возвратно поступательных движений гуттаперчевого штифта (3,3 Гц, 100 циклов за 30 сек) выше, чем частота работы аппарата РинзЭндо (RinsEndo) (1,6 Гц);
- 3) возвратно поступательные движения гуттаперчевого штифта замещают прореагировав

шую часть раствора на активные молекулы гипохлорита натрия.⁴⁴

Несмотря на то, что гидродинамические силы позволяют активно замещать раствор в апикальной зоне, общий объем свежего ирриганта в области верхушки незначителен.⁴⁵

Машинная техника активации

Некоторые системы для ирригации, представленные на стоматологическом рынке, не только обеспечивают доставку раствора в корневой канал, но одновременно усиливают его активность — за счет физических эффектов.

Вибринж (Vibrinje)



Рис. 9. Система Вибринж.

Вибринж — это звуковая ирригационная система, комбинирующая электронные колебательные движения (9000 циклов/мин) с мануально контролируемой ирригацией корневого канала (рис. 9). Вибринж использует традиционный тип доставки раствора (шприц/игла), однако с дополнительными звуковыми колебаниями.

РинзЭндо (RinsEndo)

Данная система основана на механизме подачи ирриганта под давлением с одновременной аспирацией около 100 циклов в минуту (рис. 10). Исследования указывают на риск экструзии ирриганта в сравнении с мануальной техникой, системами ЭндоАктиватор и ЭндоВак.



Рис. 10. Система РинзЭндо.

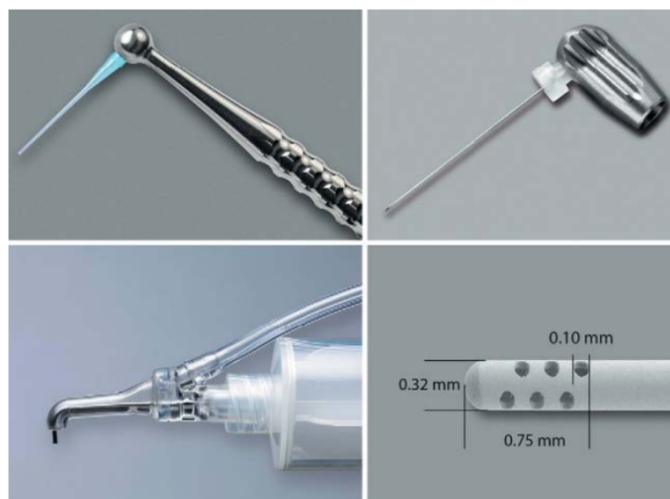


Рис. 11. Система ЭндоВак.

ЭндоВак (EndoVac)

В отличие от обычной доставки ирриганта при помощи шприца основана на применении отрицательного давления, когда ирригант, введенный в корневой канал, аспирируется при помощи тонкой иглы особого дизайна (рис. 11).

В системе ЭндоВак макро либо микроканюля соединяется посредством трубочки со шприцем для ирригации и пылесосом. Пластиковая макроканюля имеет размер отверстия 55 с конусностью .02 и присоединена к титановой ручке для первичного промывания корональной части корневого канала. Микроканюля из нержавеющей стали (размер 32) имеет четыре уровня отверстий, расположенных близко к кончику. Она соединяется с титановым наконечником для ирригации апикальной части канала посредством введения на рабочую длину.

Микроканюля используется в каналах, расширенных до 35 размера и более. В процессе работы ирригационный раствор доставляется в полость зуба с одновременным удалением избытка. Канюля в канале производит аспирацию свежего ирриганта из полости зуба, позволяя раствору проходить по всему корневому каналу. Сравнение различных ирригационных систем указывает на сниженные риски при применении системы ЭндоВак в апикальной зоне. Другим преимуществом обратного тока раствора можно считать хорошую очистку в пределах 1 мм от апикального отверстия и выраженный антибактериальный эффект при использовании гипохлорита. Такой тип ирригации снижает риск осложнений, связанных с экструзией раствора в периапикальные ткани.

Однако опилки в апикальной зоне могут блокировать отверстия микроканюли, что осложняет аспирацию раствора.

Ультразвук

Использование ультразвуковой энергии для очистки корневого канала и облегчения дезинфекции имеет очень долгую историю в эндодонтической практике. Исследования указывают на лучшую очистку корневого канала в зоне анастомозов, латеральных ответвлений, перешейка и апикальной дельты при использовании ирриганта в комбинации с ультразвуком по сравнению с ручной инструментацией (рис. 12). Механизм воздействия пассивного ультразвука связан с акустическими потоками (микротоками) и кавитацией, что обеспечивает и антибактериальный эффект.⁵⁶ Кавитация и акустические микротоки увеличивают биохимическую активность ирриганта и создают максимальный эффект при его применении (рис. 13).

Однако для эффективной работы ультразвуковой файл должен совершать свободные движения в растворе, не находясь в контакте со стенками корневого канала. При блокировке U файла в изогнутом корневом канале происходит перенос ультразвуковых колебаний кончика в дентинную стенку, что может приводить к повреждению и образованию уступов, а также ослаблению тканей зуба.

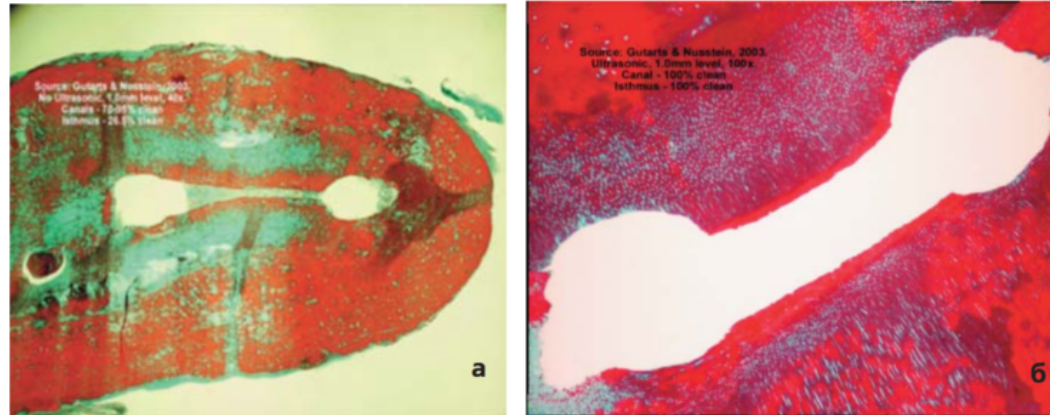


Рис. 12. Качество очистки корневых каналов (1 мм от апекса): а) классическая техника; б) с УЗ активацией. Гютартс и Нюстейн (Gutarts & Nusstein), 2003.

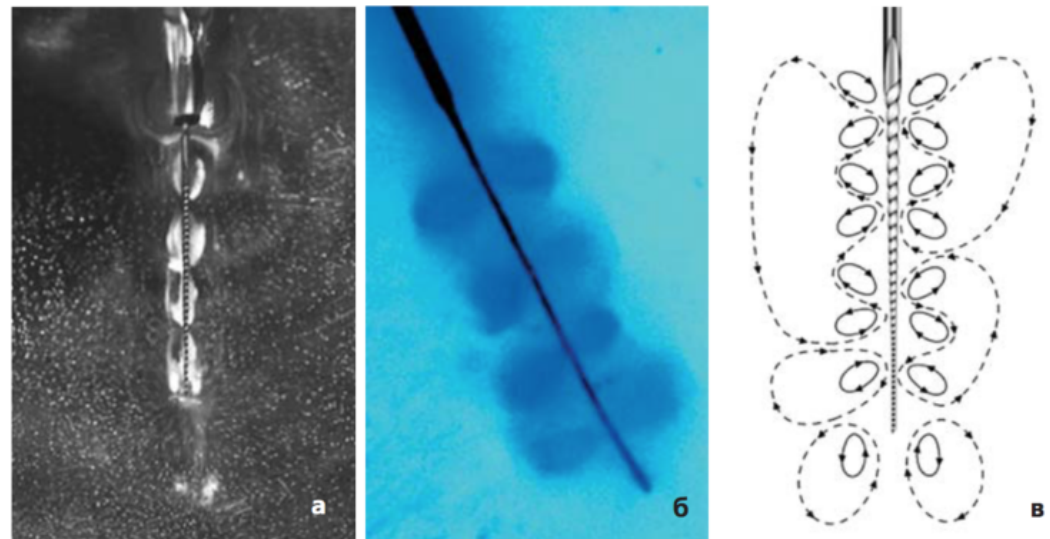


Рис. 13. Акустические микропотоки вокруг ультразвукового файла: а, б – свободно находящегося в жидкости; в) схематическое изображение. Ван дер Слюйс и соавт. (Van der Sluis et al.), 2007.

ЭндоАктиватор (EndoActivator)

Прибор основан на звуковых колебаниях по лимерной насадки в корневом канале до 10000 циклов в минуту. Система включает три типа насадок с различной геометрией, легко фиксирующихся на наконечнике (рис. 14, 15). ЭндоАктиватор не доставляет свежий раствор в канал, однако облегчает



Рис. 14. ЭндоАктиватор Дентсплай, Майллифер (Dentsply, Maillefer).

проникновение ирриганта. Исследования показывают, что система ЭндоАктиватор улучшает проникновение раствора и механическую очистку по сравнению с самостоятельной ирригацией шприцем и эндоиглой. Данная система значительно снижает риск экструзии ирриганта за апекс.

ЭндоАктиватор способен полностью очистить дополнительную анатомию, латеральные ответвления, удалить смазанный слой, а также разрушить биопленку внутри искривленных корневых каналов.⁶¹ Гидродинамическая активация усиливает проникновение, циркуляцию и текучесть ирриганта в труднодоступных зонах системы корневых каналов (рис. 16, 17). Такая очистка является залогом качественной и долгосрочной трехмерной obturation. Дополнительное применение промежуточной активации повышает шанс очистки поднутрений и латеральных ответвлений корневого канала по всей рабочей длине (рис. 18).

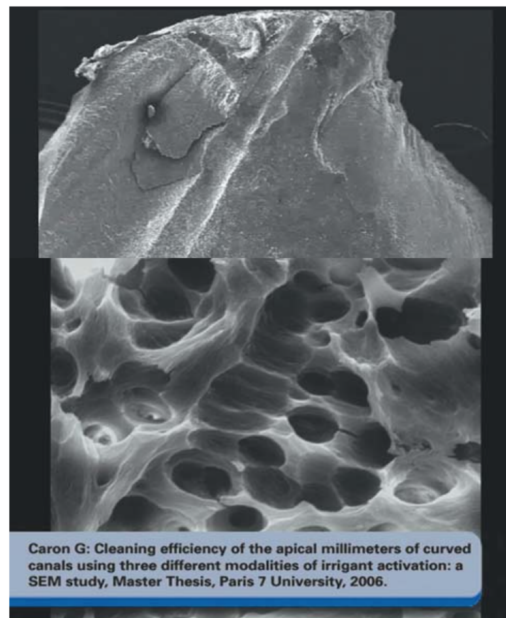
Звуковое воздействие имеет механизм, схожий с ультразвуком, несмотря на различную частоту колебаний файла.



Рис. 15. Звуковые колебания полимерной насадки ЭндоАктиватора.



Рис. 16. Гидродинамическая активация ирриганта при помощи ЭндоАктиватора. К. Раддл (C. Ruddle), 2010.



Caron G: Cleaning efficiency of the apical millimeters of curved canals using three different modalities of irrigant activation: a SEM study, Master Thesis, Paris 7 University, 2006.

Рис. 17. Качество очистки апикальной части искривленных корневых каналов с использованием ЭндоАктиватора. Дж. Кэрон (G. Caron), 2006.

Воздушная пробка

Попадание воздуха в закрытые микроканальцы при введении ирригационного раствора является общеизвестным физическим феноменом.⁴⁶ Способность жидкости проникать в эти канальцы зависит от угла контакта жидкости, а также глубины и размеров канала.⁴⁰ При различных условиях эти микроканальцы все же могут быть промыты по прошествии определенного времени (часы, дни).⁴¹ Эффект попадания воздуха и время, за которое может быть промыт весь канал, имеет клиническое значение при введении ирриганта шприцем на уровне коронарной и средней части корневого канала. Ввиду того, что ирригация продолжается в течение минут, а не часов и дней, попадание воздуха в апикальную часть канала может осложнить контакт ирриганта и дезинфекцию в этой зоне.

Некоторые авторы показали, что раствор гипохлорита натрия не проникал глубже, чем на 3 мм от рабочей длины, даже при расширении апикальной части до размера 30 (рис. 19). Чаще всего это следствие того, что внутри корневого канала гипохлорит натрия реагирует с органической тканью с образованием в апикальной зоне пузырьков газа, при объединении которых формируется

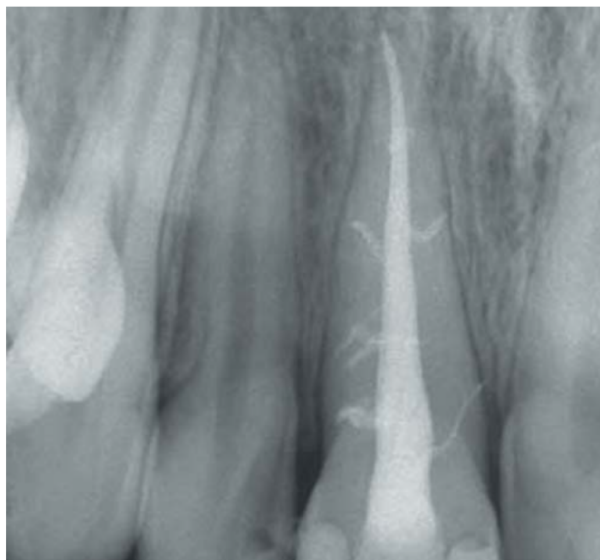


Рис. 18. 3D obturация после дополнительного применения промежуточной активации ирриганта. Ф. Шлейман (Ph. Sleiman), 2009.

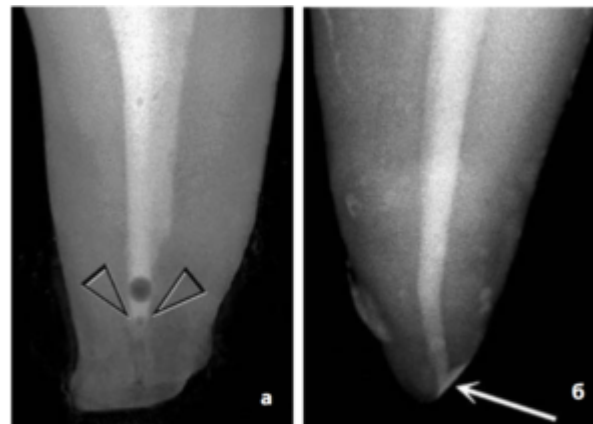


Рис. 19. Микро КТ корневого канала с введенным красителем: а) воздушная пробка в апикальной трети (стрелки); б) после активной обработки обеспечена возможность проникновения раствора. Франклин Р. Тэй и соавт. (Franklin R.Tay et al.), 2010.

за короткое время, она блокирует дальнейшее попадание ирригационного раствора в апикальную часть. Более того, акустические микропотоки и эффект кавитации возникают лишь в пределах

воздушная пробка.41 Т.к. воздушная пробка не может быть удалена при механической обработке жидкости. Поэтому при попадании ультразвукового файла в зону воздушной пробки акустические микропотоки и кавитация становятся физически невозможны.41

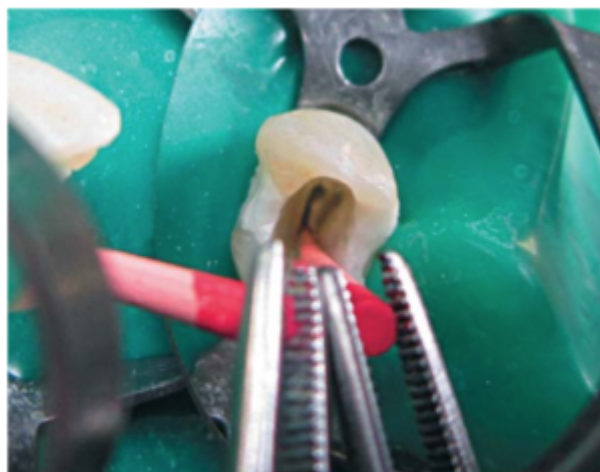


Рис. 20. Удаление воздушной пробки при помощи гуттаперчевого штифта.

Наиболее простым методом удаления воздушной пробки является введение на рабочую длину гуттаперчевого штифта, соответствующего размеру и конусности последнего рабочего файла.43 При этой технике штифт заполняет практически весь просвет канала, перемещая воздушную пробку и доставляя ирригант на рабочую длину (рис. 20). К сожалению, данная методика не дает 100%

гарантии удаления воздуха из апикальной части.

Более надежным и предсказуемым, на наш взгляд, является применение звуковой системы ЭндоАктиватор. Тонкие полимерные насадки и звуковые колебания проводят активацию раствора по типу «цунами». Это обеспечивает быстрое перемещение и удаление воздушной пробки, позволяя ирриганту легко достигать апикальной зоны. Такая техника обеспечивает возможность качественно obturировать систему корневых каналов.

Заключение

Эффективная доставка ирриганта в корневой канал и его активация являются важнейшими факторами, влияющими на качественную трех мерную obturацию и успех эндодонтического лечения в целом. Новые методики и устройства

для активации ирригационных растворов призваны улучшить доставку ирриганта, усилить растворение тканей и, в зависимости от плана лечения, удалять смазанный слой. Данные системы улучшают очистку корневого канала по сравнению со стандартной техникой ирригации корневого канала.

Литература

1. Siqueira J.F.Jr, Roca I.N. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod* 2008;34:1291-301.
2. Wong R. Conventional endodontic failure and retreatment. *Dent Clin North Am* 2004;48:265-89.
3. Basmadjian-Charles C.L., Farge P., Bourgeois D.M., Lebrun T. Factors influencing the long-term results of endodontic treatment: a review of the literature. *Int Dent J* 2002; 52:81-6.
4. Sjogren U., Hagglund B., Sundqvist G., Wing K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod* 1990;16:498-504.
5. Walton R.E. Histologic evaluation of different methods of enlarging the pulp canal space. *J Endod* 1976;2:304-11.
6. Shuping G.B., Østravik D., Sigurdsson A., Trope M. Reduction of intracanal bacteria using nickel-titanium rotary instrumentation and various medications. *J Endod* 2000;26:751-5.
7. Fariniuk L.F., Baratto-Filho F., da Cruz-Filho A.M., de Sousa-Neto M.D. Histologic analysis of the cleaning capacity of mechanical endodontic instruments activated by the ENDOflash system. *J Endod* 2003;29:651-3.
8. Hess W. The anatomy of the root-canals of the teeth of the permanent dentition: part I. New York: William Wood & Co; 1925. 1-47.
9. Vertucci F.J. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1984;58:589-99.
10. a scanning electron microscopic study. *J Endod* 2006;32:1181-4.
23. Rossi-Fedele G., De Figueiredo J.A. Use of a bottle warmer to increase 4% sodium hypochlorite tissue dissolution ability on bovine pulp. *AustEndod J* 2008;34: 39-42.
24. Kamburis J.J., Barker T.H., Barfield R.D. et al. Removal of organic debris from bovine dentin shavings. *J Endod* 2003;29:559-61.
25. Frai S., Ng Y.L., Gulabivala K. Some factors affecting the concentration of available chlorine in commercial sources of sodium hypochlorite. *IntEndod J* 2001;34: 206-15.
26. Moorer W.R., Wesselink P.R. Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. *IntEndod J* 1982;15:187-96.
27. Estrela C., Estrela C.R., Barbin E.L., et al. Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Braz Dent J* 2002;13:113-7.
28. van der Sluis L.W., Gambarini G., Wu M.K., Wesselink P.R. The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation. *IntEndod J* 2006;39: 472-6.
29. Grande N.M., Plotino G., Falanga A., Pomponi M., Somma F. Interaction between EDTA and sodium hypochlorite: a nuclear magnetic resonance analysis. *J Endod* 2006;32: 460-4.
30. Hauser V., Braun A., Frentzen M. Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system (RinsEndo). *IntEndod J*

10. Peters O.A. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod* 2004;30:559-67.
11. Wu M.K., Wesselink P.R. A primary observation on the preparation and obturation of oval canals. *IntEndod J* 2001;34:137-41.
12. Wollard R.R., Brough S.O., Maggio J., Seltzer S. Scanning electron microscopic examination of root canal filling materials. *J Endod* 1976;2:98-110.
13. Wu M.K., van der Sluis L.W., Wesselink P.R. A preliminary study of the percentage of gutta-percha-filled area in the apical canal filled with vertically compacted warm gutta-percha. *IntEndod J* 2002;35:527-35.
14. Naidorf I.J. Clinical microbiology in endodontics. *Dent Clin North Am* 1974;18: 329-44.
15. Gulabivala K., Patel B., Evans G., Ng Y.L. Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endodontic Topics* 2005;10:103-22.
16. Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod* 2006;32:389-98.
17. Christensen C.E., McNeal S.F., Eleazer P. Effect of lowering the pH of sodium hypochlorite on dissolving tissue in vitro. *J Endod* 2008;34:449-52.
18. Abou-Rass M., Oglesby S.W. The effects of temperature, concentration, and tissue type on the solvent ability of sodium hypochlorite. *J Endod* 1981;7:376-7.
19. Cunningham W.T., Joseph S.W. Effect of temperature on the bactericidal action of sodium hypochlorite endodontic irrigant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1980; 50:569-71.
20. Lui J.N., Kuah H.G., Chen N.N. Effect of EDTA with and without surfactants or ultrasonics on removal of smear layer. *J Endod* 2007;33:472-5.
21. Ringel A.M., Patterson S.S., Newton C.W., Miller C.H., Mulhern J.M. *In vivo* evaluation of chlorhexidine gluconate solution and sodium hypochlorite solution as root canal irrigants. *J Endod* 1982;8:200-4.
22. Al-Hadlaq S.M., Al-Turaiki S.A., Al-Sulami U., Saad A.Y. Efficacy of a new brush-covered irrigation needle in removing root canal debris: 2007;40:644-52.
31. Nair P.N., Henry S., Cano V., Vera J. Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after «one-visit» endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005; 99:231-52.
32. Wu M.K., Dummer P.M., Wesselink P.R. Consequences of and strategies to deal with residual post-treatment root canal infection. *IntEndod J* 2006;39:343-56.
33. Ram Z. Effectiveness of root canal irrigation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1977; 44:306-12.
34. Chow T.W. Mechanical effectiveness of root canal irrigation. *J Endod* 1983;9:475-9.
35. Langeland K., Liao K., Pascon E.A. Work-saving devices in endodontics: efficacy of sonic and ultrasonic techniques. *J Endod* 1985;11:499-510.
36. Goldman M., Kronman J.H., Goldman L.B., Clausen H., Grady J. New method of irrigation during endodontic treatment. *J Endod* 1976;2:257-60.
37. Falk K.W., Sedgley C.M. The influence of preparation size on the mechanical efficacy of root canal irrigation in vitro. *J Endod* 2005;31:742-5.
38. Lertchirakarn V., Palamara J.E., Messer H.H. Patterns of vertical root fracture: factors affecting stress distribution in the root canal. *J Endod* 2003;29:523-8.
39. Sedgley C.M., Nagel A.C., Hall D., Applegate B. Influence of irrigant needle depth in removing bioluminescent bacteria inoculated into instrumented root canals using real-time imaging in vitro. *IntEndod J* 2005;38:97-104.
40. Sedgley C., Applegate B., Nagel A., Hall D. Real-time imaging and quantification of bioluminescent bacteria in root canals in vitro. *J Endod* 2004;30:893-8.
41. Pesse A.V., Warriar G.R., Dhir V.K. An experimental study of the gas entrapment process in closed-end microchannels. *Int J Heat Mass*

- Transfer 2005;48:5150-65.
42. Machtou P. Irrigation investigation in endodontics. Paris VII University, Paris, France: Mastersthesis; 1980.
 43. McGill S., Gulabivala K., Mordan N., Ng Y.L. The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo) determined by removal of a collagen 'bio-molecular film' from an ex vivo model. *IntEndod J* 2008;41: 602-8.
 44. Wiggins S., Ottino J.M. Foundations of chaotic mixing. *Philos Transact A Math PhysEngSci* 2004;362:937-70.
 45. Huang T.Y., Gulabivala K., Ng Y- L. A bio-molecular film ex-vivo model to evaluate the influence of canal dimensions and irrigation variables on the efficacy of irrigation. *IntEndod J* 2008;41:60-71.
 46. Bankoff S.B. Entrapment of gas in the spreading of a liquid over a rough surface. *AIChE J* 1958;4:24-6.
 47. Dovgyallo G.I., Migun N.P., Prokhorenko P.P. The complete filling of dead-end conical capillaries with liquid. *J EngPhy* 1989;56:395-7.
 48. Migun N.P., Shnip A.I. Model of film flow in a dead-end conic capillary. *J End PhysThermophys* 2002;75:1422-8.
 49. Senia E.S., Marshall F.J., Rosen S. The solvent action of sodium hypochlorite on pulp tissue of extracted teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971;31:96-103.
 50. Nielsen B.A., Baumgartner C.J. Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *J Endod* 2007;33:611-5.
 51. Plotino G., Pameijer C.H., Grande N.M. et al. Ultrasonics in endodontics: a review of the literature. *J Endod* 2007;33:81-95.
 52. Martin H., Cunningham W. Endosonics-the ultrasonic synergistic system of endodontics. *Endod Dent Traumatol* 1985;1:201-6.
 53. Roy R.A., Ahmad M., Crum L.A. Physical mechanisms governing the hydrodynamic response of an oscillating ultrasonic file. *IntEndod J* 1994;27:197-207.
 54. Lumley P.J., Walmsley A.D., Walton R.E. et al. Effect of pre-curving endosonic files on the amount of debris and smear layer remaining in curved root canals. *J Endod* 1992;18:616-9.
 55. Goodman A., Reader A., Beck M. et al. An in vitro comparison of the efficacy of the step-back technique versus a step-back ultrasonic technique in human mandibular molars. *J Endod* 1985;11:249-56.
 56. Spoleti P., Siragusa M., Spoleti M.J. Bacteriological evaluation of passive ultrasonic activation. *J Endod* 2002;29:12-4.
 57. Desai P., Himel V. Comparative safety of various intracanal irrigation systems. *J Endod* 2009;35:545-9.
 58. Hauser V., Braun A., Frentzen M. Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system (RinsEndo). *IntEndod J* 2007;40:644-52.
 59. Hockett J.L., Dommisch J.K., Johnson J.D. et al. Antimicrobial efficacy of two irrigation techniques in tapered and nontapered canal preparations: an in vitro study. *J Endod* 2008;34:1374-7.
 60. Nielsen B.A., Craig Baumgartner J. Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *J Endod* 2007;33:611-5.
 61. Caron G. Cleaning Efficiency of the Apical Millimeters of Curved Canals Using Three Different Modalities of Irrigant Activation: An SEM Study [Mastersthesis]. Paris VII; Paris, France; 2006, publication pending.
 62. Guerisoli D.M., Marchesan M.A., Walmsley A.D. et al. Evaluation of smear layer removal by EDTAC and sodium hypochlorite with ultrasonic agitation. *IntEndod J*. 2002;35:418-421.