

В.Н. Царев,

д.м.н., зав. кафедрой микробиологии, вирусологии и иммунологии, директор Научно-исследовательского медико-стоматологического института

М.С. Подпорин,

лаборант-исследователь лаборатории молекулярно-биологических исследований Научно-исследовательского медико-стоматологического института

Е.В. Ипполитов,

к.м.н., профессор кафедры микробиологии, вирусологии, иммунологии, зав. отделом фундаментальных исследований Научно-исследовательского медико-стоматологического института

В.О. Самусенков,

к.м.н., врач-стоматолог

МГМСУ им. А.И. Евдокимова

Оценка эффективности эндодонтической дезинфекции с использованием сканирующей электронной микроскопии биопленки корневых каналов

Резюме. Частота осложнений по результатам эндодонтического лечения хронических форм пульпита и периодонтита остается высокой и составляет от 32 до 50%, что связывают со свойствами микробной биопленки. Микрофлору корневых каналов изучали бактериологическим методом (4 бактериальных и 2 грибковых клинических изолята). Влияние ультразвуковой обработки в комплексе с фотоактивируемой дезинфекцией на микрофлору корневого канала оценивали с использованием биореактора. Исследование биопленок системы корневых каналов зуба у больных хроническими формами пульпита (52 человека) и периодонтита (16 человек) проведено с использованием сканирующей электронной микроскопии. Установлены наличие обильной микробной биопленки в устьях дентинных канальцев и obturation дентинных канальцев в отдельных случаях. Описаны особенности формирования кривых роста популяций бактерий оральной микрофлоры (*P. gingivalis*, *F. nucleatum*, *S. sanguinis*, *S. mutans*, *C. albicans*, *C. krusei*) в результате комплексного воздействия фотодинамической активации и ультразвука по сравнению с контролем без такового. Комплексное воздействие существенно угнетает рост микробных популяций оральных бактерий и грибов рода *Candida*.

Ключевые слова: хронический пульпит, корневые каналы, микробная биопленка, сканирующая электронная микроскопия, эндодонтическое лечение, ультразвуковая ирригация, фотодинамическая терапия, биореактор, антимикробная активность in vitro

Summary. Laboratory justification of combined usage of ultrasonic processing and photoactivated disinfection of dental root from microorganisms allocated at patients with chronic forms of pulpitis and periodontitis. The microflora of root channels was studied by bacteriological method (4 bacterial and 2 fungi clinical isolates). With a bioreactor, influences of ultrasonic processing were evaluated in complex with photoactivated disinfection system on a root channel microflora. The work presents the research results of root channels tooth system biofilm at patients with chronic forms of pulpitis (52 people) and periodontitis (16 people) using scanning electron microscopy. Results established existence of plentiful microbial biofilm in ostiums of dentinal canaliculus and, in some cases, — dentinal canaliculus obturation. The experimental research part describes formation features of oral microflora bacterial population growth curves (*Porphyromonas gingivalis*, *Fusobacterium nucleatum*, *Streptococcus sanguinis*, *Streptococcus mutans*, *Candida albicans*, *Candida krusei*) because of combined effect of photodynamic activation and ultrasound in comparison with control without that. The obtained data allow concluding that combined effect significantly oppresses microbial population growth of oral bacteria and *Candida* type fungi.

Key words: chronic pulpitis, root channels, microbial biofilm, scanning electron microscopy, endodontic treatment, ultrasonic irrigation, photodynamic therapy, bioreactor, antimicrobial activity of in vitro

Около трети всех осложнений кариеса в структуре стоматологических заболеваний выпадает на долю пульпитов и периодонтитов. Современная эндодонтия в поисках новых вариантов лечения совершенствуется и на данный момент обладает внушительным арсеналом методик по высокоэффективной инструментальной

обработке и obturation корневых каналов. Однако результаты общепринятого эндодонтического лечения пациентов не могут считаться вполне удовлетворительными, так как частота осложнений по результатам лечения остается высокой и колеблется, по данным литературы, от 32 до 50% в сроки наблюдения свыше двух лет [8].

Это прежде всего касается зубов с так называемыми проблемными каналами (чаще моляров), где зачастую затруднена возможность качественной инструментальной и медикаментозной обработки [9].

Сложившиеся в стоматологической науке представления о морфологии пульпы, физиологических и патофизиологических процессах, протекающих в ней, позволяют по-новому взглянуть на методики лечения, заставляя находить все более современные решения. Современные методики выявления патогенных микроорганизмов позволили больше узнать о составе микрофлоры инфицированных каналов, что способствовало повышению эффективности дезинфекции. В стремительно развивающихся технологиях аэробной и анаэробной культивации исследователями высказывается единодушное мнение, что осложнения кариеса имеют полибактериальный характер. Среди патогенов, колонизирующих корневые каналы, выделяют грамотрицательные облигатно-анаэробные палочки из разных групп, а также микроаэрофильные стрептококки.

Эндодонтическая обработка каналов остается основным этапом в комплексной терапии заболеваний пульпы и от того, как проведен этот этап, напрямую зависят отдаленные результаты лечения [1]. Эндодонтическое лечение должно быть направлено на очищение корневого канала от опилок, которые состоят помимо детрита дентина из тканей пульпы, бактерий и продуктов их распада, тем самым удалить раздражающий фактор, который впоследствии может привести к повторному осложнению [3]. В ходе инструментальной обработки образуется смазанный слой, представляющий собой конгломерат аморфного клейкого вещества, содержащего отростки одонтобластов, микроорганизмы, остатки тканей пульпы и неорганический матрикс дентина. Бактерии проникают в дентинные каналы, и детрит быстро блокирует латеральные анатомические ответвления, тем самым создавая условия для формирования биопленки, которая впоследствии сохраняет жизнеспособность бактерий в системе дентинных каналов [10].

В связи с остротой этой проблемы предложено использование дополнительных физических воздействий, которые, по мнению авторов, способствуют разрушению биопленки. Одним из наиболее популярных в настоящее время является метод фотоактивируемой дезинфекции (ФАД). Он основан на использовании различных фотобиологических эффектов, вызываемых посредством сочетанного применения штаммов светового излучения, кислорода и фотосенсибилизатора (ФС) [6]. Особое значение приобретает также качественная ирригация корневых каналов с активацией ирриганта с помощью ультразвукового файла пьезоэлектрической группы, что, возможно, повышает эффективность эндодонтического лечения с точки зрения очистки стенок дентинных каналов, особенно в области апекса [5].

В связи с вышеизложенным, целью нашего исследования являлось лабораторное обоснование комплексного воздействия ультразвуковой обработки

и фотоактивируемой дезинфекции корня зуба при хронических формах пульпита и периодонтита, а также оценка эффективности эндодонтического лечения с применением программируемого биокультивирования штаммов и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Всего было обследовано 84 пациента с диагнозом хронический пульпит, в том числе 29 с хроническим фиброзным пульпитом (ХФП), 21 — с хроническим гангренозным пульпитом (ХГП) и 34 — с хроническим периодонтитом в фазе обострения. Возраст пациентов составил от 25 до 45 лет (для чистоты эксперимента, так как у пациентов более старшего возраста была выявлена общесоматическая патология).

В клинической части исследования в каждой группе методом случайной выборки были сформированы по 2 подгруппы:

I подгруппу сравнения, или контрольную, составили пациенты, которым проводилась традиционная методика лечения и сопровождалась взятием материала для проведения СЭМ системы дентинных каналов;

II подгруппу исследования — основную, составили пациенты, которым проводили комплексное лечение с использованием ультразвуковой активации ирриганта и дальнейшей фотодинамической обработкой.

Структуру биопленки корневых каналов изучали с помощью СЭМ с использованием двулучевого микроскопа Quanta 200 3D (FEI Company, США) в режиме высокого вакуума, при ускоряющих напряжениях 5 кВ, с предварительным напылением золотом (999) в установке SPI-Module Sputter/Carbon Coater System (SPI Inc., США).

В подгруппе сравнения традиционная методика эндодонтического лечения проводилась в соответствии с протоколом Европейского общества эндодонтистов. В основной подгруппе после процедуры механической обработки каналов проводили медикаментозную обработку с использованием ультразвуковой активации ирриганта на протяжении 10 секунд, затем проводилась ФАД в течение 30 секунд. Повторная обработка проводилась с сокращенной в 2 раза экспозицией (5 секунд УЗ, 15 секунд ФАД соответственно). Соотношение проводимых процедур в процессе лечения составило 1:1.

В экспериментальной части исследования для оценки воздействия ультразвуковой активации ирриганта на штаммы микроорганизмов использовали аппарат пьезоэлектрической группы Ultrasonic DTE-D5, а для проведения фотоактивируемой дезинфекции — аппарат Fotosan 360 с применением в качестве ФС толуидинового синего (рис. 1, 2).

Микробиологическое изучение патологического содержимого корневых каналов осуществляли с помощью бактериологического метода исследования, включавшего в обязательном порядке анаэробное культивирование

путем количественных высевов на питательную среду M144 (Himedia, Индия) с добавлением крови (для культивирования грамотрицательных анаэробных и грамположительных микроаэрофильных бактерий) и M1297A (Himedia, Индия) для грибов рода *Candida*. Посевы помещали в термостат при температуре 37°C на 48 часов (для анаэробных культур — в анаэроостат на 7 суток), после чего использовали автоматическую систему по подсчету количества колоний Scan 500 (Interscience, Франция).

В экспериментальной части исследования проводили оценку влияния ультразвуковой обработки в комплексе с системой фотоактивируемой дезинфекции на микрофлору корневого канала с использованием биореактора Реверс-Спиннер RTS-1 (BioSan, Латвия). Интерпретацию результатов проводили по изменению оптической плотности при длине волны 850 нм. В настоящем исследовании данная система, предназначенная для культивирования микроорганизмов и оценки их роста в режиме реального времени, была использована нами впервые в отечественной практике для

культивирования анаэробных бактерий пародонтопатогенной группы, стрептококков и грибов рода *Candida* (рис. 3).

Из числа выделенных штаммов для экспериментальной части исследования были отобраны наиболее часто встречающиеся у обследованных нами пациентов 4 бактериальных и 2 грибковых клинических изолята: *Porphyromonas gingivalis*, *Fusobacterium nucleatum*, *Streptococcus sanguis*, *Streptococcus mutans*, *Candida albicans* и *Candida krusei*.

Для определения чувствительности выделенных штаммов применяли собственную модификацию метода серийных разведений, разработанную на кафедре микробиологии, вирусологии, иммунологии МГМСУ им. А.И. Евдокимова.

В стерильные пластиковые пробирки Eppendorf помещали в равном соотношении по 0,20 мл взвеси испытуемого штамма и ФС, что в конечном количестве равнялось 10^6 колониеобразующих единиц. Концентрация ФС — средняя (med), экспозиция ультразвуковой обработки — 10 секунд.

При проведении эксперимента первоначально помещали наконечник ультразвукового аппарата непосредственно в бактериальную взвесь, включали на необходимый период времени, а затем добавляли ФС, помещали наконечник диодного аппарата и включали световое излучение на 30 секунд (в соответствии с инструкцией). В качестве контроля использовали бактериальную взвесь без последующей дальнейшей ее обработки. Для культивирования микроорганизмов в биореакторе использовали два типа пробирок по 50 мл: с мембранным фильтром TubeSpin для аэробов и по типу Falcon с крышкой без мембраны. В каждую пробирку добавляли 15 мл питательной среды и вносили заранее подготовленную бактериальную взвесь с помощью биохимической пипетки.

Пробирки помещали в биореактор и программно задавали необходимые параметры культивирования: для грибов — 2 суток, для пародонтопатогенных бактерий и стрептококков — 5 суток. Регистрацию точек на кривой роста фиксировали каждые 4 часа.

Результаты эксперимента отображались в графике динамики изменения оптической плотности на протяжении всего периода культивирования. По ключевым точкам кривых роста микробных популяций проводили статистическую обработку данных в 5 повторах и обрабатывали методом параметрической статистики для малой выборки по Манну — Уитни ($p < 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В клинической части работы мы сравнивали частоту диагностируемых осложнений при лечении различных форм хронического пульпита и периодонтита, а именно потребность в повторном эндодонтическом лечении, а также необходимость проведения оперативного хирургического вмешательства. На диаграммах (рис. 4) видно, что в подгруппах, где использовалась стандартная



Рис. 1. Аппарат пьезоэлектрической группы Ultrasonic DTE-D5



Рис. 2. Система фотоактивируемой дезинфекции Fotosan 360



Рис. 3. Система культивирования микроорганизмов Реверс-Спиннер RTS-1

методика лечения, процент повторного лечения и хирургического вмешательства превалирует по сравнению с исследуемой группой (в среднем в 1,5–2 раза чаще).

Как известно, система корневого канала зуба часто имеет сложную морфологию, особенно жевательной группы зубов. Идеально круглый в поперечном сечении, конусовидный корневой канал с одним апикальным отверстием является, пожалуй, редким исключением. Тем самым достичь полноценной очистки, стерилизации и оптимального формирования стенок корневых каналов возможно далеко не во всех случаях. В подавляющем большинстве случаев каналы имеют неправильную форму, различный диаметр в букколингвальном и мезиодистальном направлении, многочисленные поднутрения, так называемые плавники. От основного канала на разных уровнях отходит множество латеральных канальцев. Известно, что основной канал в апикальной части образует дельту и открывается на верхушке корня не одним, а несколькими апикальными отверстиями [2, 12].

По данным литературы, при эндодонтической обработке формируется смазанный слой, содержащий микроорганизмы [11, 12]. Считается, что смазанный слой для микроорганизмов является питательной средой, а также препятствует полноценной адгезии пломбировочных материалов к стенкам корневых каналов. Поэтому при СЭМ он представлен элементами микробной биопленки, что подтверждено нашими исследованиями.

В нашем исследовании с помощью СЭМ установлено наличие высокого уровня микробной контаминации смазанного слоя в зоне корневого канала и дентинных канальцев (рис. 5). На микрофотографии при увеличении 1500 видны устья дентинных канальцев, которые obturированы скоплениями микроорганизмов, формирующих биопленку (рис. 5, а). При увеличении 5000 хорошо различимы палочковидные (бактероидные) микробные клетки и округлые дрожжевые элементы грибов (рис. 5, б).

Таким образом, учитывая, что ассоциации микроорганизмов полости рта колонизируют экосистему корневых каналов в виде биопленки, это существенно затрудняет их удаление из системы корневых каналов, а также препятствует полноценной деконтаминации системы корневых каналов от микроорганизмов. Данное обстоятельство явилось основанием для расширения нашего исследования в экспериментальной части. Используя новейшие технологии культивирования бактерий с автоматизированным мониторингом этого процесса, мы провели сравнительную оценку фотодинамического и ультразвукового воздействия на разные типы микроорганизмов — возбудителей эндодонтической инфекции.

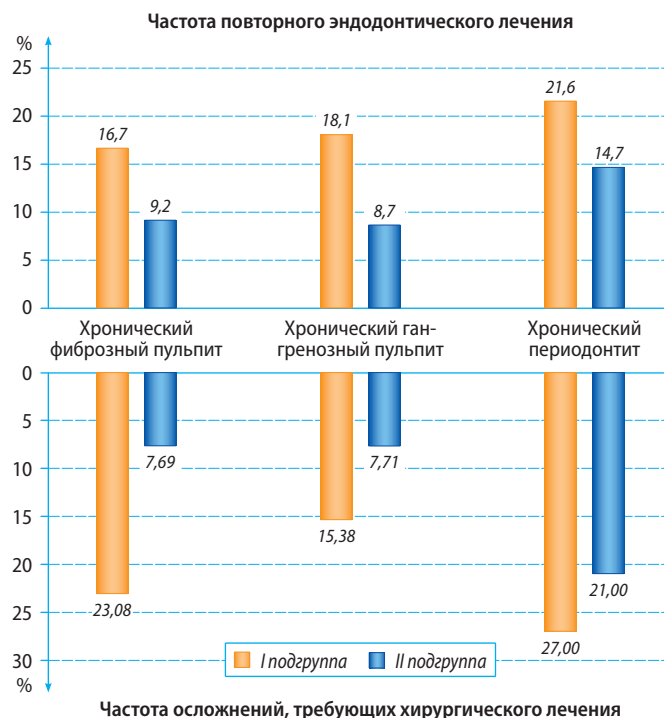


Рис. 4. Сравнительные показатели эффективности лечения

Оценка чувствительности к ультразвуковой обработке в комплексе с фотоактивируемой дезинфекцией штаммов грамотрицательных анаэробных бактерий с использованием модифицированного метода разведений выполнена на модели штаммов *Porphyromonas gingivalis* (рис. 6) и *Fusobacterium nucleatum*.

На представленном графике видно, что лаг-фаза, охватывающая промежуток от момента посева бактерий до начала их роста, продолжалась в среднем одинаково у всех исследуемых штаммов — в пределах суток. Так, для *Porphyromonas gingivalis* начало роста отмечалось на 16-й час культивирования, а для *Fusobacterium nucleatum* — на 20-й, как в контрольной, так и в исследуемой пробе. Экспоненциальная (логарифмическая) фаза, характеризующаяся прогрессирующим нарастанием скорости деления клеток, имела достоверные отличия как

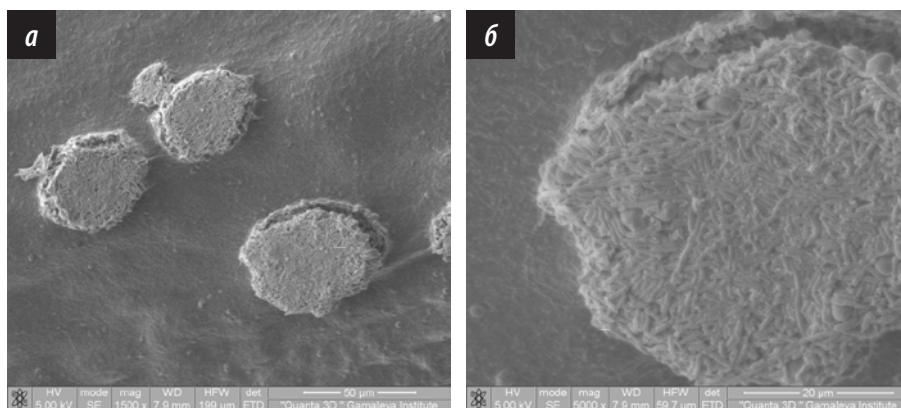


Рис. 5. Микробная obturация дентинных канальцев (СЭМ): а — видны устья трех канальцев (ув. 1500), б — устье одного из канальцев (ув. 5000)

по достижению максимума биомассы (определяемой при данной методике по оптической плотности — OD), так и по скорости прироста клеток. Показатели пикового максимума оптической плотности контрольной пробы составили: *Porphyromonas gingivalis* — 2,37 OD (40 ч); *Fusobacterium nucleatum* — 2,45 OD (48 ч). Задержка

логарифмической фазы и переход в стационарную фазу в исследуемых пробах наблюдали еще через 20–28 часов культивирования.

При оценке чувствительности к ультразвуковой обработке в комплексе с фотоактивируемой дезинфекцией штаммов грамположительных бактерий использовали модели со штаммами *Streptococcus sanguinis* и *Streptococcus mutans* (рис. 7) и установили, что лаг-фаза роста данных бактериальных популяций продолжалась немного дольше, чем у грамотрицательных бактерий, и заканчивалась к 24 часам культивирования как в контрольной, так и в исследуемой пробе. Экспоненциальная (логарифмическая) фаза также имела достоверные отличия как по достижению максимума биомассы, так и по скорости прироста клеток. Показатели пикового максимума оптической плотности контрольной пробы составили: *Streptococcus sanguinis* — 2,39 OD (40 ч); *Streptococcus mutans* — 2,49 OD (48 ч). Задержка логарифмической фазы и переход к стационарной фазе в исследуемых пробах наблюдали в промежутке от 32 до 40 часов культивирования. Наиболее чувствительным к УЗ- и ФАД-обработке оказался *Streptococcus sanguinis* — максимум был отмечен на 36-м часе и составил 1,58 OD; более устойчивым оказался *Streptococcus mutans* — 2,01 OD (44 ч).

В экспериментах с грибами рода *Candida* (рис. 8) видно, что лаг-фаза продолжалась не более 6 часов как в контрольной, так и в исследуемой пробе. Экспоненциальная (логарифмическая) фаза была для разных видов различна, особенно в скорости прироста клеток. Показатели пикового максимума оптической плотности в контрольной пробе составили: *Candida albicans* — 7,81 OD (58 ч); *Candida krusei* — 8,5 OD (62 ч). Задержка логарифмической фазы в исследуемых пробах наблюдалась на промежутке от 14 до 34 часов культивирования, причем у *Candida krusei* к 14 часам существенно снизилась скорость прироста клеток, а задержка лаг-фазы отмечалась только на 34-й час. Наиболее чувствительным к УЗ- и ФАД-обработке оказался *Candida albicans* — максимум был отмечен на 22-й час и составил 5,61 OD; более устойчивым оказался *Candida krusei* — 6,56 OD (42 ч).

Суммарные данные, демонстрирующие выявленные усредненные тенденции роста бактериальных популяций в условиях ультразвуковой обработки в комплексе с фотоактивируемой дезинфекцией, представлены в таблице. Как следует из представленных данных, для всех исследованных штаммов наблюдали статистически достоверную тенденцию к снижению воспроизводства бактериальной популяции после рассматриваемого вида физического воздействия (фотоактивация и ультразвук). Наиболее выраженное угнетение роста бактериальных популяций наблюдалось при сравнении таких узловых точек кривых роста, как начало подъема логарифмической фазы и в стационарной фазе, однако, полного прекращения роста бактериальных популяций и изменения траектории кривой роста ни в одном случае в эксперименте мы не наблюдали.

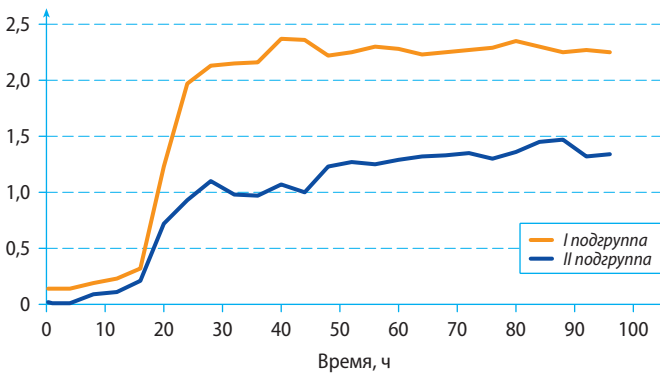


Рис. 6. Оценка чувствительности штамма грамотрицательных бактерий *Porphyromonas gingivalis* к комплексному физиотерапевтическому воздействию *in vitro*

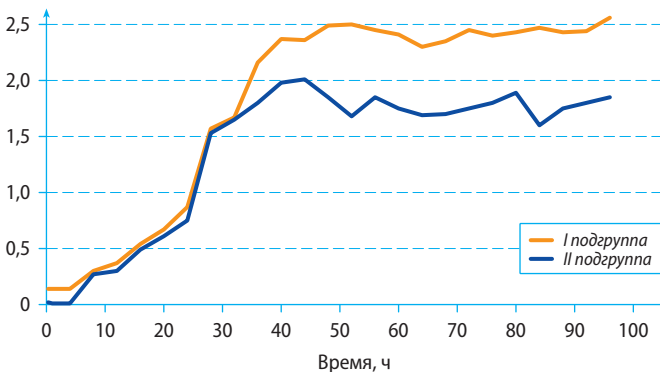


Рис. 7. Оценка чувствительности штамма грамположительных бактерий *Streptococcus mutans* к комплексному физиотерапевтическому воздействию *in vitro*

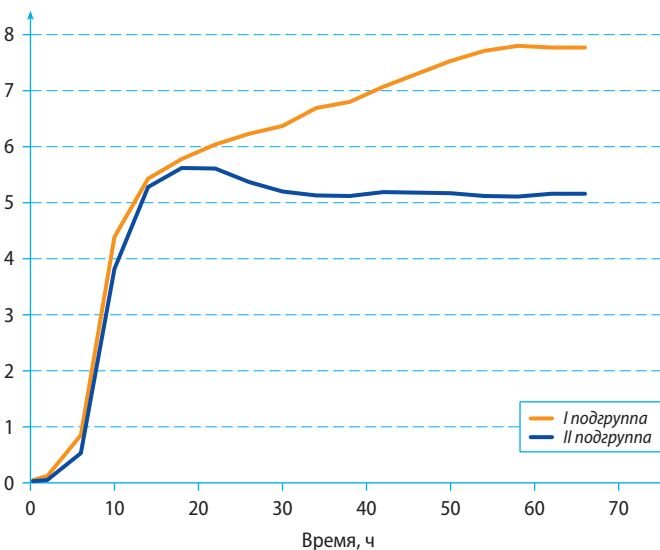


Рис. 8. Оценка чувствительности штамма дрожжевых грибов рода *Candida albicans* к комплексному физиотерапевтическому воздействию *in vitro*

Сравнительная характеристика количественных параметров (по оптической плотности) роста микробных популяций с учетом узловых точек кривой роста

Штамм	Группа	Точка кривой роста			
		начало подъема лаг-фазы	начало подъема логарифм. фазы	начало подъема стац. фазы	средний показатель стац. фазы
<i>P. gingivalis</i>	I	0,19±0,04	0,32±0,04	2,13±0,05	2,26±0,05
	II	0,09±0,03*	0,21±0,04*	0,93±0,04*	1,22±0,03*
<i>F. nucleatum</i>	I	0,19±0,04	0,29±0,04	2,37±0,05	2,28±0,05
	II	0,09±0,03*	0,15±0,02*	1,34±0,04*	1,37±0,03*
<i>S. sanguinis</i>	I	0,24±0,04	0,67±0,04	2,37±0,05	2,23±0,05
	II	0,15±0,04*	0,57±0,04*	1,56±0,04*	1,51±0,03*
<i>S. mutans</i>	I	0,30±0,04	0,54±0,04	2,37±0,05	2,42±0,05
	II	0,27±0,04	0,61±0,04	1,8±0,03*	1,79±0,04*
<i>C. albicans</i>	I	0,12±0,04	0,85±0,04	6,69±0,05	7,38±0,05
	II	0,05±0,02	0,53±0,04*	5,28±0,05*	5,24±0,05*
<i>C. krusei</i>	I	0,12±0,04	0,80±0,05	6,10±0,05	7,23±0,05
	II	0,07±0,03	0,46±0,04*	5,89±0,05*	6,27±0,05*

* Достоверное снижение показателя при исследуемом физическом воздействии ($p < 0,05$).

Следовательно, данный вариант эндодонтической дезинфекции с использованием физических факторов деконтаминации может быть охарактеризован как бактериостатический, но не бактерицидный.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные в нашем исследовании результаты позволяют предположить, что любой из представителей микробиоты, колонизирующей поверхность зуба, может контаминировать кариозную полость и проникнуть в пульпу зуба и далее в систему дентинных канальцев, что является причиной воспалительного процесса. К ранним колонизаторам, которые формируют начальную биопленку, относят различные виды микроаэрофильных стрептококков, обладающих высокими адгезивными свойствами по отношению к эмали зуба. К промежуточным колонизаторам относят фузобактерии, к поздним — большинство представителей пародонтопатогенных видов (*Porphyromonas gingivalis*, *Prevotella intermedia*, *Tannerella forsythia*, *Treponema denticola* и др.).

По данным наших предыдущих исследований, из системы дентинных каналов могут выделяться с высокой (от 50 до 90%) частотой представители облигатно-анаэробных видов (*Peptostreptococcus anaerobius*, *Peptococcus niger*, *Porphyromonas spp.*, *Prevotella spp.*, *Fusobacterium spp.*, *Tannerella forsythia*), и с меньшей (от 25 до 40%) — представители преимущественно микроаэрофильных видов (*Streptococcus sanguinis*, *Propionibacterium spp.*, *Corynebacterium spp.*, *Actinomyces spp.*), а также некоторых облигатно-анаэробных (*Streptococcus intermedius*, *Treponema denticola*, *Eubacterium spp.*). При этом частота выделения стафилококка составляла всего лишь 6,2%, энтерококка — 24,1%, а грибов рода *Candida* — 13,8% [7].

В связи с остротой этой проблемы предложено использование дополнительных физических воздействий, которые, по мнению авторов, способствуют разрушению биопленки. Одними из наиболее популярных в настоящее время являются методы ультразвуковой и фотоактивируемой дезинфекции.

В эндодонтии ультразвук стали применять благодаря эффекту кавитации (в жидкой среде — формирование пузырьков пара, сопровождающееся шумом и гидравлическими ударами) и акустическим вихревым потокам, возникающим вокруг эндодонтического файла в процессе работы. Вихревые потоки разбивают детрит корневого канала на опилки и нагревают дезинфицирующий раствор, что значительно повышает качество эндодонтического лечения и создает

условия для герметичной obturации корневого канала, что можно рассматривать как одно из перспективных направлений лечения [2, 3]. Считается доказанным, что применение ультразвуковой активации ирриганта в процессе обработки корневых каналов является более эффективной методикой по сравнению с традиционным ручным методом обработки [5, 11].

Фотоактивируемая дезинфекция с использованием различных ФС, индуцирующих цепную фотохимическую реакцию с выбросом высокоактивных окислителей, также позиционируется как обнадеживающий метод разрушения полимерного матрикса биопленки [6, 8, 10].

Вместе с тем представляется крайне важным, что полного прекращения роста и гибели всех микроорганизмов, как это гипотетически предполагалось или позиционировалось в исследованиях некоторых авторов, изучавших эффективность ФАД или ультразвуковой ирригации, на самом деле не происходит. Как показали наши экспериментальные данные, сохраняется даже траектория кривой роста, свойственной данному виду (или штамму) с присущими особенностями узловых точек, но на более низком уровне.

Нельзя не учитывать и тот негативный фактор, что в клинических условиях микробы находятся в ассоциации, да к тому же защищенной матрицей биопленки. Доказано, что полисахаридный матрикс является специфическим барьером для проникновения внутрь биопленки антибактериальных агентов, в связи с чем повышается резистентность микробов к антисептикам и антибиотикам [1, 4, 7].

Обсуждая механизмы эффективности ультразвука и фотодинамической активации в том виде, как они технически обеспечиваются сегодня, к сожалению, можно говорить лишь о бактериостатическом воздействии,

однако, его может быть вполне достаточно для улучшения микробиологической ситуации в системе корневых каналов и включения механизмов иммунной защиты. По-видимому, это и определяет те положительные результаты, которые получены в наших клинических исследованиях и исследованиях других авторов, использовавших данные виды физической дезинфекции системы корневых каналов зуба.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При проведении СЭМ подтверждено наличие обильной микробной колонизации смазанного слоя в области устьев дентинных канальцев корня зуба, имеющей признаки микробной биопленки, представленной ассоциацией бактериоидных и дрожжевых клеток. Установлена обтурация пролиферирующей микробной биопленкой устьев дентинных канальцев, что является показанием для применения физических методов воздействия для более полноценной эрадикации микробной флоры дентинных канальцев.

Как показали наши исследования, фотоактивируемая дезинфекция в комплексе с ультразвуковой

активацией ирриганта *in vitro* по-разному влияет на процесс размножения микробных клеток штаммов — представителей нормальной микрофлоры полости рта и бактерий пародонтопатогенной группы, а также на размножение грибов рода *Candida*, но во всех случаях имеет место бактериостатический эффект, выражающийся в торможении размножения бактерий или грибов по сравнению с контрольными образцами.

При анализе динамики роста популяций бактерий и грибов были установлены различия в наступлении основных фаз кривой роста популяции, максимума размножения (стимуляции роста) и перехода к стационарной фазе. Кривые роста бактериальных популяций *in vitro* во всех случаях (со всеми использованными штаммами бактерий и дрожжевых грибов) демонстрировали статистически достоверное снижение по сравнению с контрольными образцами.

Вместе с тем даже сочетанного применения физических факторов деконтаминации (фотодинамическая активация и ультразвук), по-видимому, недостаточно для достижения идеального варианта эндодонтической обработки, к которому сегодня стремятся стоматологи.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бир Р., Бауман М., Ким С. Эндодонтология: монография (пер. с англ. под ред. проф. Т.Ф. Виноградовой). — М.: МЕДпрессинформ, 2004. — 368 с.
2. Хольгер Деннхардт. Ультразвук в эндодонтии. — *Медицинский алфавит*. — 2014; 217 (1): 10—3.
3. Зюзина Т.В. И снова об ирригации в эндодонтии. — *Эндодонтия Today*. — 2009; 4: 11—5.
4. Ипполитов Е.В., Диденко Л.В., Царев В.Н. Особенности морфологии биопленки пародонта при воспалительных заболеваниях десен (хронический катаральный гингивит, хронический пародонтит, кандидо-ассоциированный пародонтит) по данным электронной микроскопии. — *Клиническая лабораторная диагностика*. — 2015; 60 (12): 59—64.
5. Рабинович И.М., Корнетова И.В. Клиническое применение ультразвука при эндодонтическом лечении. — *Клиническая стоматология*. — 2012; 4 (64): 10—4.
6. Царев В.Н., Арутюнов С.Д., Малазония Т.Т., Царева Е.В., Подпорин М.С., Ипполитов Е.В., Самусенков В.О. Оценка антимикробного действия фотодинамической терапии на возбудителей неклостридиальной анаэробной инфекции пародонта в экспериментальных и клинических исследованиях. — *Клиническая стоматология*. — 2015; 4 (76): 14—9.
7. Царев В.Н., Дмитриева Л.А., Ипполитов Е.В., Нусанова С.Е. Последовательное применение антибактериальных и детоксицирующих препаратов при эндодонтическом лечении хронического апикального периодонтита (Клинико-экспериментальное исследование). — *Эндодонтия Today*. — 2013; 1: 8—14.
8. Чунихин А.А., Митронин А.В. Эндодонтическое лечение пульпита: традиционные и современные подходы. — *Эндодонтия Today*. — 2009; 4: 3—10.
9. Hess J. C., Medioni E., Vene G. Therapeutique endodontique. Ensemble pulpodentarie. Pulpotomie. — *Encycl Med Chir Odontologie*. — 2002; 1: 201—15.
10. Lambrechts P., Huybrechts B., Bergmans L. et al. Photoactivated disinfection (PAD): paintball endodontics. — *Endo Tribune*. — 2006; 1(7): 1, 16, 18, 20, 22—4.
11. Plotino G., Pameijer C.H., Grande N.M., Somma F. Ultrasonic in endodontics: a review of the literature. — *J Endod*. — 2007; 33 (2): 81—95.
12. Ruddle C. J. Endodontic access preparation: an opening for success. — *Dent Today*. — 2007; 26 (2): 114—9.