

О.О. Янушевич, И.В. Маев, Э.А. Базилян, А.А. Чунихин

Московский государственный медико-стоматологический университет
имени А.И. Евдокимова, Москва, Российская Федерация

Изучение генерации синглетного кислорода в слюне человека *in vitro* под действием наносекундного импульсного лазерного излучения

Обоснование. Необходима разработка новых лазерных аппаратов для применения в терапии сложной стоматологической патологии и микрохирургии полости рта с уникальными параметрами, с возможностью генерации наносекундного импульсного излучения в квази-монохроматической полосе излучения. Высокая пиковая мощность излучения в импульсе позволяет лазерному свету глубже проникать в биологические среды без существенного их нагрева. Возможность возбуждения синглетного кислорода без использования эндогенных фотосенсибилизаторов является неоспоримым преимуществом таких лазерных генераторов. **Цель исследования** — изучение генерации синглетного кислорода в ротовой жидкости человека *in vitro* в зависимости от параметров наносекундного импульсного лазерного излучения с длиной волны ~1265 нм. **Методы.** В работе использовалось лазерное устройство, имеющее основной инфракрасный (ИК) излучатель с длиной волны, примерно соответствующей максимуму поглощения кислорода (~1265 нм), с генерированием наносекундного импульсного излучения. Изучалась генерация синглетного кислорода в ротовой жидкости человека и смыве ротовой жидкости по выцветанию ловушки в растворах под действием лазерного излучения до облучения через 30 и 60 мин. Были установлены следующие параметры лазерного излучения: мощность — 1 Вт, наносекундное импульсное излучение с длительностью импульса 400 нс и частотой 0,5; 1,0; 1,5 и 2,0 МГц в сравнении с непрерывным режимом излучения. **Результаты.** Установлено, что наносекундное лазерное излучение приводит к окислению химической ловушки синглетного кислорода, солюбилизированной детергентом додецилсульфат натрия (0,05 M SDS), в ротовой жидкости и смыве слюны из полости рта. В импульсных наносекундных режимах лазерное излучение более эффективно, чем в непрерывном режиме. С увеличением частоты повторения наблюдалось повышение эффекта в среднем на 10% по сравнению с меньшей частотой, а эффект с максимальной частотой 2,0 МГц был практически на 50% выше, чем при использовании непрерывного режима излучения, во всех проведенных исследованиях. Уменьшение оптической плотности при 414 нм достоверно отмечалось в образцах со смывом ротовой жидкости, эффект составил $0,07 \pm 0,01$ за 60 мин облучения. В ротовой жидкости эффект при тех же параметрах был чуть ниже и составил $0,05 \pm 0,03$. **Заключение.** Скорость выцветания ловушки в смыве слюны оказалась в 1,3 раза больше, чем в воде с детергентом, что может свидетельствовать об активации фотоакцепторов и перенасыщении их кислородом при использовании водного разведения ротовой жидкости. Максимальный эффект наблюдался при использовании лазерного излучения с частотой повторения импульсов 2,0 МГц.

Ключевые слова: наносекундный импульсный лазер, фотодинамический эффект, синглетный кислород

Для цитирования: Янушевич О.О., Маев И.В., Базилян Э.А., Чунихин А.А. Изучение генерации синглетного кислорода в слюне человека *in vitro* под действием наносекундного импульсного лазерного излучения. Вестник РАМН. 2022;77(4):285–290. doi: <https://doi.org/10.15690/vramn2141>

Обоснование

Открытие немногим более полувека назад принципа генерации и усиления световых волн определило развитие нового направления в медицине с использованием лазерного излучения в лечении различных заболеваний. Воздействие лазерного излучения обусловлено наличием фотоакцепторов в клетках и тканях организма. Широко регулируемые параметры — длина волны, интенсивность, частота, мощность излучения — определяют эффекты воздействия на биологические ткани [2].

Одним из интересных и перспективных направлений в лазерной медицине является фотодинамическая терапия, основанная, с одной стороны, на деструктивном воздействии синглетного кислорода, образующегося в результате каскада фотохимических реакций, а с другой — на биостимулирующем действии низкоинтенсивного лазерного излучения [10]. Молекула синглетного кислорода представляет собой возбужденное состояние за счет поглощения энергии лазерного излучения. Это обуславливает свойства синглетного кислорода как сильнейшего окислителя ароматических аминокислот и его

способность к разрушению мембранных структур клетки [4]. Для усиления фотодинамических реакций используют фотосенсибилизаторы, способные аккумулироваться в тканях и несущие в себе большее количество кислородных молекул [2]. Однако низкая фотодинамическая активность, недостаточная селективность, чувствительность к определенной длине волны, высокая токсичность в купе с высокой стоимостью производства современных фотосенсибилизаторов, например, на основе природных хлоринов ставят вопрос об эффективности их применения [8].

Генерация синглетного кислорода под действием лазерного излучения возможна без использования фотосенсибилизаторов в спектральных интервалах квази-монохроматического излучения ближней инфракрасной области в полосах поглощения газообразного кислорода с максимумом в полосе ~1265 нм [1]. Импульсное лазерное излучение в ультракоротких режимах за счет высокой пиковой мощности глубже проникает в среды без существенного нагрева. Суммирование световых фотонов в наносекундном импульсном режиме излучения способствует насыщению сред синглетным кислородом за счет

перекрытия короткого времени жизни этой активной формы [9].

Разработка и построение новых приборов имеют огромное значение для развития медицинских технологий, позволяя повысить качество лечения и добиваться устойчивых положительных результатов. Развитие медицинской лазерной техники идет очень быстрыми темпами. Сегодня создаются новые лазерные приборы на основе диодных технологий для применения в медицине, имеющие компактные размеры и способные к генерации ультракоротких импульсов излучения с возможностью излучения нескольких длин волн. Перспективным представляется разработка робототехнического комплекса для лечения сложной патологии челюстно-лицевой области с возможностью интеграции лазерного модуля в манипуляторы робота-хирурга, с помощью интеллектуального интерфейса которого возможны регулирование скорости движения лазерного инструмента, соблюдение максимально точного расстояния между наконечником лазерного инструмента и тканью, а также регулирование мощности и импульсности лазерного излучения.

Ранее нами в цикле исследований на биохимических модельных средах и в плазме крови была доказана возможность генерации синглетного кислорода без использования фотосенсибилизаторов с применением лазерного излучения наносекундного импульсного квантового генератора в квазимонополосе излучения с длиной волны ~1270 нм [5–7].

Лазерная терапия и микрохирургия в полости рта непосредственно сопряжены с взаимодействием лазерного излучения с ротовой жидкостью. Слюна — биологическая среда организма человека, выделяемая в полость рта слюнными железами. В полости рта образуется смешан-

ная слюна, или ротовая жидкость, которая кроме секрета слюнных желез включает микрофлору и продукты ее жизнедеятельности, содержимое пародонтальных карманов, десневую жидкость, десквамированный эпителий, мигрирующие в полость рта лейкоциты, остатки пищевых продуктов и т.д. На 98,5% и более слюна состоит из воды с содержанием солей различных кислот, микроэлементов, ферментов [3].

По нашему мнению, заслуживает внимания изучение возможности генерации синглетного кислорода в ротовой жидкости человека.

Цель исследования — изучение генерации синглетного кислорода в ротовой жидкости человека *in vitro* в зависимости от параметров наносекундного импульсного лазерного излучения с длиной волны ~1265 нм.

Методы

Дизайн исследования

Проведено проспективное сравнительное лабораторное исследование. В работе использовалось лазерное устройство (опытный образец), имеющее основной инфракрасный (ИК) излучатель с длиной волны, примерно соответствующей максимуму поглощения кислорода (~1265 нм), с генерацией наносекундного импульсного излучения.

Излучатель монтировался в герметичном корпусе с термостабилизацией на основе элемента Пельтье. Излучение фокусировалось в оптическом световоде диаметром 400 мкм. ИК-излучатель представляет собой полосковый диодный лазер на основе квантоворазмерной двойной гетероструктуры раздельного ограничения [11, 12] с рас-

O.O. Yanushevich, I.V. Maev, E.A. Bazikyan, A.A. Chunikhin

Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimov,
Moscow, Russian Federation

Study of Generation of Singlet Oxygen in Human Saliva *in vitro* Under the Action of Nanosecond Pulsed Laser Radiation

Background. The development of new laser devices for use in the treatment of complex dental pathology and microsurgery of the oral cavity with unique parameters with the ability to generate nanosecond pulsed radiation in a quasi-monochromatic radiation band is necessary. The high peak output power per pulse allows laser light to penetrate deeper into biological media without significant heating. The possibility of excitation of singlet oxygen without the use of endogenous photosensitizers is an indisputable advantage of such laser generators. **Aims** — study of singlet oxygen generation in human oral fluid *in vitro* depending on the parameters of nanosecond pulsed laser radiation with a wavelength of ~1265 nm. **Methods.** We used a laser device with a main infrared (IR) emitter with a wavelength approximately corresponding to the oxygen absorption maximum (~1265 nm) with the generation of nanosecond pulsed radiation. A study was carried out to study the generation of singlet oxygen in the human oral fluid and the washing out of the oral fluid by the fading of the trap in solutions under the action of laser radiation before irradiation, after 30 and 60 min. The laser radiation parameters were set as follows: power 1 W, nanosecond pulsed radiation with a pulse duration of 400 ns and a frequency of 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 MHz in comparison with the continuous radiation mode. **Results.** It has been established that nanosecond laser radiation leads to the oxidation of a chemical singlet oxygen trap solubilized with sodium dodecyl sulfate (0.05 M SDS) detergent in the oral fluid and saliva flushing from the oral cavity. In pulsed nanosecond modes, laser radiation is more efficient than in continuous mode. With an increase in the repetition frequency, an increase in the effect by an average of 10% compared to a lower frequency was observed and the effect with a maximum frequency of 2.0 MHz was almost 50% higher than when using continuous radiation in all studies. A decrease in optical density at 414 nm was reliably observed in samples with oral fluid washing, the effect was 0.07 ± 0.01 for 60 min of exposure. In the oral fluid, the effect with the same parameters was slightly lower and amounted to 0.05 ± 0.03 . **Conclusions.** The rate of fading of the trap in the saliva wash turned out to be 1.3 times faster than in water with detergent, which may indicate the activation of photoacceptors and their oversaturation with oxygen when using aqueous dilution of the oral fluid. The maximum effect was observed when using laser radiation with a pulse repetition rate of 2.0 MHz.

Keywords: nanosecond pulsed laser, photodynamic effect, singlet oxygen

For citation: Yanushevich OO, Maev IV, Bazikyan EA, Chunikhin AA. Study of Generation of Singlet Oxygen in Human Saliva *in vitro* Under the Action of Nanosecond Pulsed Laser Radiation. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences.* 2022;77(4):285–290. doi: <https://doi.org/10.15690/vramn2141>

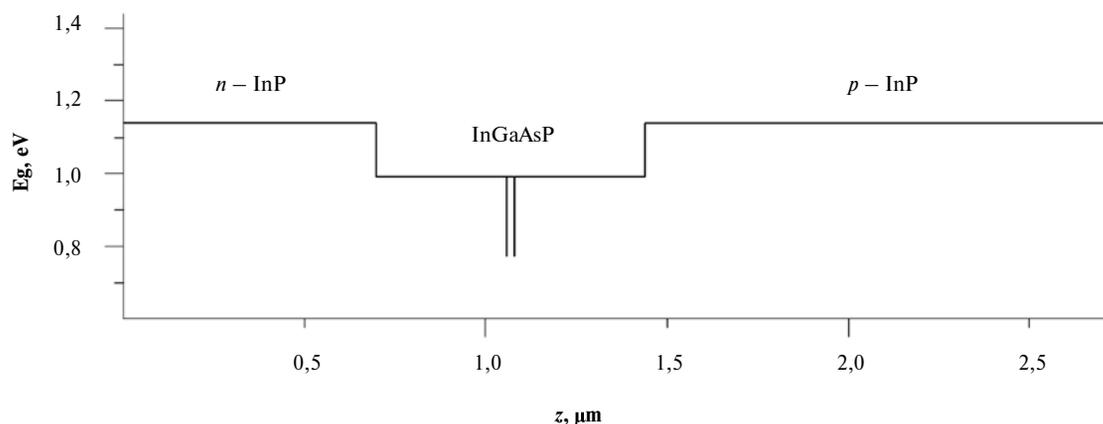


Рис. 1. Схематическая зонная энергетическая диаграмма лазерной структуры, использованной в исследуемом модуле. z — координата вдоль направления роста структуры

ширенным волноводом [13, 14]. Гетероструктура состояла из двух квантовых ям (КЯ) из твердого раствора InGaAsP (толщиной 50 Å каждая). КЯ были помещены в нелегированный волновод (шириной 0,74 мкм) из InGaAsP. n - и p -эмиттеры изготовлены из InP, легированного до $n = 4 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и $p = 5 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ соответственно (рис. 1). Длина резонатора Фабри–Перо составляла $L = 2$ мм, ширина полоскового контакта, обеспечивающего аперттуру излучения, — $W = 100$ мкм.

ИК-излучатель имеет непрерывный режим работы и четыре импульсных режима. Длительность импульса в каждом из режимов — 400 нс, а частота повторения импульсов для режимов 1–4 — соответственно 0,5; 1,0; 1,5 и 2,0 МГц.

Условия проведения

Настоящее исследование выполнено на базе лаборатории медицинской кибернетики и цифровых биомедицинских нанотехнологий НИИ «Технобиомед» ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Исходы исследования

Были получены образцы ротовой жидкости человека (слюна собиралась из ротовой полости в пробирку при стимуляции саливации) и смыва ротовой жидкости (получается при полоскании ротовой полости и содержит примерно 30% (об.) слюны и 70% (об.) воды), которые были предварительно подвергнуты центрифугированию (10 мин при 39 000 об./мин при $t = 4$ °C) для удаления клеточных элементов. Визуально вязкость образцов существенно различалась. Вязкость ротовой жидкости существенно больше по сравнению с вязкостью смыва.

Для проведения фотохимических экспериментов использовались квадратные кварцевые флуоресцентные кюветы с длиной оптического пути 1 см. Объем проб в кюветах всегда составлял 1,25 мл. Растворы разбавляли детергентом — додецилсульфат натрия (SDS) в небольшой концентрации (0,05 М), что оказалось достаточно для устойчивой солиubilизации ловушки, при этом концентрация ловушки не падала за 1 ч стояния пробы.

Головку световода размещали вплотную к кювете с раствором ловушки. Продолжительность сеанса облучения пробы была подобрана так, чтобы эффект выцвет-

тания SDS был достоверно измеримым, но не слишком сильным. Время облучения составило 60 мин со средней мощностью 1 Вт.

Методы регистрации исходо

Для регистрации выцветания ловушки синглетного кислорода использовали спектрофотометр Shimadzu UV-1601PC. По оптической плотности раствора вычисляли скорость выцветания ловушки. Исследование проводили на разных режимах работы лазера с целью выявления оптимальных параметров лазерного излучения для генерации синглетного кислорода.

Статистический анализ

В каждом режиме излучения проводили серию исследований из 50 сеансов. Результаты обрабатывали статистически с вычислением среднего арифметического значения и погрешности среднего арифметического.

Результаты

Основные результаты исследования

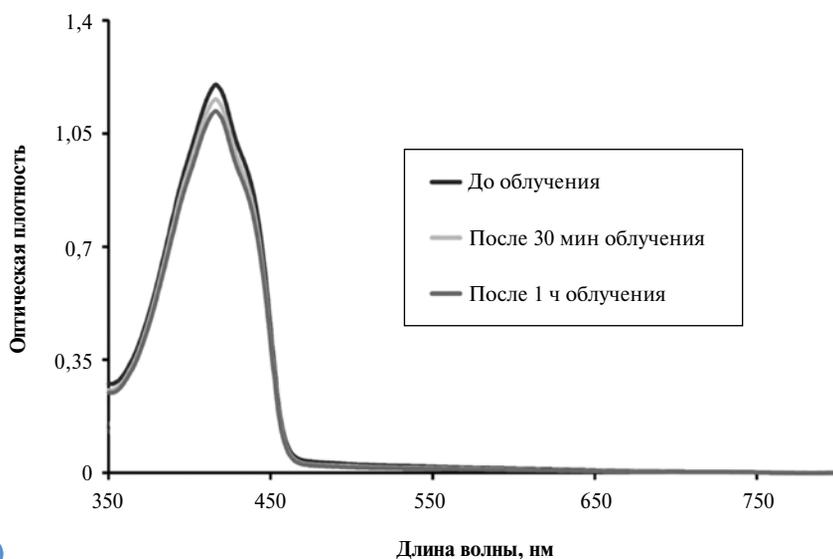
В табл. 1 приведены относительные средние скорости выцветания ловушки из 50 независимых измерений в ротовой жидкости, смыве ротовой жидкости и воде с относительной погрешностью под действием лазерного излучения в соответствии со скоростью падения оптической плотности ловушки, нормированной на 1 Вт в 1 мин лазерного облучения.

Из данных табл. 1 видно, что в импульсных наносекундных режимах лазерное излучение более эффективно, чем в непрерывном режиме. Частота повторения импульса в пределах доступного диапазона (0,5–2,0 МГц) оказывает существенное влияние на усиление эффекта. С увеличением частоты повторения наблюдалось повышение эффекта в среднем на 10% по сравнению с меньшей частотой, а эффект с максимальной частотой 2 МГц был практически на 50% выше, чем при использовании непрерывного режима излучения, во всех проведенных исследованиях.

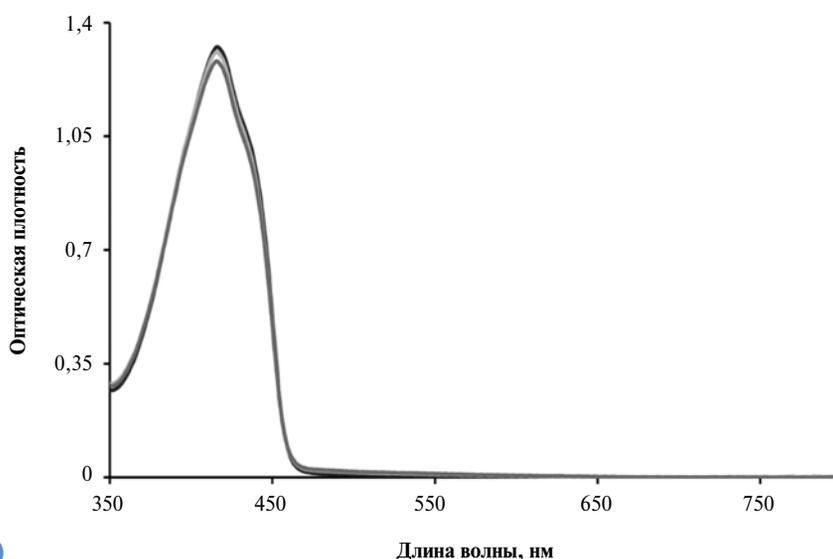
На рис. 2 графически показаны эффекты выцветания ловушки при облучении растворов ротовой жидкости и смыва ротовой жидкости в зависимости от времени облучения лазером в режиме излучения с частотой 2,0 МГц. Уменьшение оптической плотности при 414 нм достоверно отмечалось в образцах со смывом ротовой жидкости,

Таблица 1. Сравнение эффективности фотодеструкции ловушки синглетного кислорода в слюне с добавлением детергента при действии исследуемого лазера в сравнении с водой на разных режимах работы

Режим работы	Скорость выцветания ДФИБФ (отн. ед.), нормированная на мощность лазерного излучения (Вт)		
	Среда		
	Ротовая жидкость + 0,05 М SDS	Смыв ротовой жидкости + 0,05 М SDS	Вода + 0,05 М SDS
Непрерывный	0,0094±0,0001	0,0098±0,0002	0,0076±0,0002
Импульс:			
• режим 1	0,0105±0,0003	0,0112±0,0002	0,0087±0,0002
• режим 2	0,0113±0,0002	0,0122±0,0003	0,0090±0,0001
• режим 3	0,0126±0,0003	0,0135±0,0002	0,0011±0,0002
• режим 4	0,0138±0,0003	0,0149±0,0003	0,0114±0,0003



А



Б

Рис. 2. Серия спектров поглощения химической ловушки в смыве слюны (А) и в ротовой жидкости (Б) с 0,05 М SDS при действии исследуемого лазера в режиме 1 Вт, 1,25 мл

эффект составил $0,07 \pm 0,01$ за 60 мин облучения (рис. 2, А). В ротовой жидкости эффект при тех же параметрах был чуть ниже, составив $0,05 \pm 0,03$ (рис.2, Б). При этом в эксперименте контролировали температуру нагрева сред, которая поднялась за 60 мин с 27 до 37 °С, т.е. нагрев рас-

творов составил не более 10 °С, что позволяет утверждать о безопасности термического воздействия лазерного излучения данного модуля. Для сравнения проводили эксперимент в воде, где скорость выцветания ловушки почти такая же, как и в смыве ротовой жидкости.

Обсуждение

Заключение

Полученные данные позволяют утверждать, что при использовании лазера с наносекундным импульсным излучением скорость выцветания ловушки в ротовой жидкости и смыве ротовой жидкости сравнима со скоростью выцветания в воде. При этом в смыве ротовой жидкости образование синглетного кислорода 1,3 раза выше, чем в воде. Такой результат можно объяснить присутствием в ротовой жидкости других фотоакцепторов, которые при разведении водой способствуют большей генерации синглетного кислорода при использовании ультракоротких импульсов высокой мощности квазимонохроматического лазерного излучения.

Установлено, что наносекундное лазерное излучение приводит к окислению химической ловушки синглетного кислорода, солюбилизированной детергентом додецилсульфат натрия (0,05 M SDS), в ротовой жидкости и смыве слюны из полости рта. Поскольку молекулы ловушки (SDS) имеют максимум поглощения только в УФ и видимой области спектра и не поглощают инфракрасное лазерное излучение, эффект обусловлен прямым лазерным возбуждением растворенного кислорода, полоса поглощения которого соответствует спектральной области лазерного излучения. В одинаковых условиях эффект выцветания ловушки в ротовой жидкости примерно в 2 раза слабее, что, возможно, обусловлено большим содержанием белка в ротовой жидкости и большей вязкостью этого образца. Однако скорость выцветания ловушки в смыве слюны оказалась в 1,3 раза быстрее, чем в воде с детергентом, что может свидетельствовать об активации фотоакцепторов и перенасыщении их кислородом при использовании водного разведения ротовой жидкости. Максимальный эффект наблюдался при использовании лазерного излучения с частотой повторения импульсов 2,0 МГц.

На основании проведенных лабораторных исследований сконструирован лазерный аппарат для использования в стоматологической практике. Изобретения защищены патентами РФ № 2635773 «Лазерный импульсный модуль для комплексной терапии, гипертермии и хирургии заболеваний челюстно-лицевой области» и № 2652565 «Способ лечения одонтогенных заболеваний с использованием лазерной фотодинамической синглетной окситерапии».

В настоящее время создание робототехнической хирургической системы для заместительной и реконструктивной хирургии тканей и органов головы и шеи с возможностью интеграции лазерного модуля является актуальной задачей развития медицины.

Дополнительная информация

Источник финансирования. Исследования выполнены, рукопись подготовлена и публикуется за счет финансирования по месту работы авторов.

Конфликт интересов. Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

Участие авторов. О.О. Янушевич — написание текста, проведение исследования, финальная вычитка; И.В. Маев — написание текста, проведение исследования, финальная вычитка; Э.А. Базикян — написание текста, проведение исследования, финальная вычитка; А.А. Чунихин — написание текста, проведение исследования, финальная вычитка. Все авторы внесли значимый вклад в проведение исследования, подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Ю.В., Захаров С.Д., Иванов А.В. Фотодинамический и светокислородный эффекты: общность и различия // *Лазерная медицина*. — 2012. — Т. 16. — № 4. — С. 4–9. [Aleksseev JuV, Zaharov SD, Ivanov AV. Photodynamic and light-oxygen effects: commonality and differences. *Laser Medicine*. 2012;16(4):4–9. (In Russ.)]
2. Гейниц А.В., Сорокатый А.Е., Ягудаев Д.М., и др. Современный взгляд на механизм фотодинамической терапии // *Урология*. — 2006. — № 5. — С. 94–98. [Gejnic AV, Sorokatyj AE, Jagudaev DM, et al. Modern view on the mechanism of photodynamic therapy. *Urology*. 2006;5:94–98. (In Russ.)]
3. Кудрявцева Т.В., Чеминава Н.Р. Влияние минерального состава ротовой жидкости на стоматологическое и соматическое здоровье // *Пародонтология*. — 2016. — Т. 21. — № 4 (81). — С. 17–23. [Kudryavtseva TV, Cheminaeva NR. The influence of the mineral composition of oral fluid on dental and somatic health. *Periodontics*. 2016;21(81):17–23. (In Russ.)]
4. Мартусевич А.А., Перетягин С.П., Мартусевич А.К. Молекулярные и клеточные механизмы действия синглетного кислорода на биосистемы // *Современные технологии в медицине*. — 2012. — № 2. — С. 128–134. [Martusevich AA, Peretjagin SP, Martusevich AK. Molecular and cellular mechanisms of action of singlet oxygen on biosystems. *Modern Technologies in Medicine*. 2012;2:128–134. (In Russ.)]
5. Чунихин А.А., Саакян М.Ю., Гажва С.И., и др. Разработка наносекундного лазерного модуля, встраиваемого в роботизированный многофункциональный хирургический комплекс для малоинвазивной терапии патологии челюстно-лицевой области и определение эффектов его воздействия на плазму крови // *Современные технологии в медицине*. — 2016. — Т. 8. — № 4. — С. 30–35. [Chunihin AA, Saakjan MJ, Gajhva SI, et al. Development of a nanosecond laser module built into a robotic multifunctional surgical complex for minimally invasive therapy of the pathology of the maxillofacial region and determination of the effects of its effect on blood plasma. *Modern Technologies in Medicine*. 2016;8(4):30–35. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.17691/stm2016.8.4.04>
6. Чунихин А.А., Базикян Э.А., Сырникова Н.В., и др. Сравнительная оценка эффективности генерации синглетного кислорода лазерным наносекундным модулем робототехнического хирургического комплекса в модельных биохимических средах // *Российская стоматология*. — 2017. — Т. 10. — № 2. — С. 30–35. [Chunihin AA, Bazikyan EA, Syrnikova NV, et al. Comparative Evaluation of the Efficiency of Singlet Oxygen Generation by a Nanosecond Laser Module of a Robotic Surgical Complex in Model Biochemical Environments. *Russian Stomatology*. 2017;10(2):30–35. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.17116/rosstomat201710230-35>
7. Чунихин А.А., Базикян Э.А., Пихтин Н.А. Лазерный модуль для фотодинамической терапии и робот-ассистированной микрохирургии в стоматологии // *Письма в журнал технической физики*. — 2017. — Т. 43. — № 11. — С. 12–19. [Chunihin AA, Bazikyan EA, Pihitin NA. A laser unit for photodynamic therapy and robot-assisted microsurgery in dentistry. *Technical Physics Letters*. 2017;43(6):507–510. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.1134/S1063785017060074>

8. Bornhütter T, Ghogare AA, Preuß A, et al. Synthesis, Photophysics and PDT Evaluation of Mono-, Di-, Tri- and Hexa-PEG Chlorins for Pointsource Photodynamic Therapy. *Photochem Photobiol.* 2017;93(5):1259–1268. doi: <https://doi.org/10.1111/php.12773>
9. Drobizhev M, Karotki A, Kruk M, et al. Resonance enhancement of two-photon absorption in porphyrins. *Chem. Phys. Lett.* 2002;355(1–2):175–182. doi: <https://doi.org/10.1109/qels.2002.1031080>
10. Farivar S, Malekshahabi T, Shiari R. Biological effects of low level laser therapy. *J Lasers Med Sci.* 2014;5(2):58–62.
11. Слипченко С.О., Подоскин А.А., Винокуров Д.А., и др. Полупроводниковые лазеры (1020–1100 нм) с асимметричным расширенным одномодовым волноводом на основе гетероструктур AlGaAs/GaAs // *Физика и техника полупроводников.* — 2013. — Т. 47. — № 8. — С. 1082–1086. [Slipchenko SO, Podoskin AA, Vinokurov DA, et al. AlGaAs/GaAs diode lasers (1020–1100 nm) with an asymmetric broadened single transverse mode waveguide. *Semiconductors.* 2013.47:1079–1083. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.1134/S1063782613080186>
12. Веселов Д.А., Шашкин И.С., Пихтин Н.А., и др. Подавление процесса делокализации носителей заряда в мощных импульсных полупроводниковых лазерах // *Письма в журнал технической физики.* — 2015. — Т. 41. — № 6. — С. 10–16. [Veselov DA, Shakshin IS, Pikhitin NA, et al. Suppressing the process of charge carrier delocalization in high-power pulse-pumped semiconductor lasers. *Technical Physics Letters.* 2015;41:263–265. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.1134/S1063785015030293>

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Чунихин Андрей Анатольевич, д.м.н., доцент [*Andrey A. Chunikhin*, MD, PhD, Assistant Professor];
адрес: 127473, Москва, ул. Делегатская, 20, стр. 1 [**address:** 20/1, Delegatskaya str., 127473, Moscow, Russia];
e-mail: dosca74@yandex.ru, **SPIN-код:** 2691-1347, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9054-9464>

Янушевич Олег Олегович, д.м.н., профессор, академик РАН [*Oleg O. Yanushevich*, MD, PhD, Professor, Academician of the RAS]; **e-mail:** msmsu@msmsu.ru, **SPIN-код:** 1452-1387, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0059-4980>

Маев Игорь Вениаминович, д.м.н., профессор, академик РАН [*Igor V. Maev*, MD, PhD, Professor, Academician of the RAS]; **e-mail:** msmsu@msmsu.ru, **SPIN-код:** 1994-0933, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6114-564X>

Базикян Эрнест Арамович, д.м.н., профессор [*Ernest A. Bazikyan*, MD, PhD, Professor]; **e-mail:** bazikyan@msmsu.ru, **SPIN-код:** 8434-1801, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9184-3737>