

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ОТОРИНОЛАРИНГОЛОГИИ

Научная статья

УДК 615.849.19:616-092.4

<https://doi.org/10.18692/1810-4800-2025-4-8-12>

Экспериментальное исследование дистанционного действия полупроводникового лазера с длиной волны 445 нм на биологическую модель

Ю. С. Алексанян¹, Г. П. Захарова², А. А. Кривопапов³

^{1,2,3} Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи, Санкт-Петербург, 190013, Российская Федерация

³ Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова, Санкт-Петербург, 191015, Российская Федерация

¹ y_aleksanyan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3170-6834>

² GalinaZaharovaLOR@yandex.com

³ krivopalov@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6047-4924>

Реферат. В настоящее время, несмотря на широкий спектр высокотехнологичных методов лечения пациентов с хроническим ринитом, распространенность заболевания остается достаточно высокой. В связи с этим для повышения эффективности хирургического лечения носовой обструкции анализ особенностей применения различных лазерных систем, разработка адекватных способов и режимов их воздействия представляют несомненную актуальность. **Цель исследования.** Изучение действия полупроводникового лазера с длиной волны 445 нм на экспериментальных образцах ткани в постоянном режиме при дистанционном воздействии. **Материал и методы.** Нами проведено исследование по изучению поверхностного дистанционного воздействия полупроводникового лазера длиной волны 445 нм на опытный образец ткани свиной печени. Изучалось воздействие восьми показателей мощности лазерного излучения: от 0,5 до 4,0 Вт с шагом в 0,5 Вт. Исследование проводилось на расстоянии от источника излучения до поверхности образца 3, 5, 10 мм. Время экспозиции в непрерывном режиме составляло от 3 до 10 секунд для точечного воздействия со скоростью перемещения 2 мм/с для линейного воздействия при дистанционном способе. **Результаты.** Полученные данные свидетельствуют, что в диапазоне мощности воздействия от 1,5 до 2,5 Вт на расстоянии 10 мм от объекта наблюдается максимально выраженное коагуляционное воздействие без участков деструкции. **Заключение.** Полученные данные экспериментального исследования свидетельствуют о том, что при дистанционном способе воздействия как при точечном, так и при линейном постоянных режимах полупроводниковый лазер с длиной волны 445 нм оказывает выраженное коагуляционное действие. Оптимальная выраженность зоны коагуляции без излишней некролизации ткани наблюдается на мощности от 1,5 до 2,5 Вт при расстоянии 10 мм от источника излучения до объекта исследования при точечном и линейном постоянном режиме. Полученные результаты указывают на возможность применения данного способа и режима при использовании максимально щадящего подхода к хирургическому вмешательству на нижних носовых раковинах.

Ключевые слова: лазерная хирургия, мощность лазерного излучения 445 нм, экспериментальное исследование, биологическая ткань

Для цитирования: Алексанян Ю. С., Захарова Г. П., Кривопапов А. А. Экспериментальное исследование дистанционного действия полупроводникового лазера с длиной волны 445 нм на биологическую модель. *Российская оториноларингология. 2025;24(4):8-12.* <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2025-4-8-12>

GENERAL QUESTIONS OF OTOLARYNGOLOGY

Science article

Experimental study of remote action of 445 nm semiconductor laser on biological modelYu. S. Aleksanyan¹, G. P. Zakharova², A. A. Krivopalov³^{1,2,3} Saint Petersburg Institute of Ear, Throat, Nose and Speech, Saint Petersburg, 190013, Russian Federation³ Mechnikov North-Western State Medical University, Saint Petersburg, 191015, Russian Federation¹ y_aleksanyan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3170-6834>² GalinaZakharovaLOR@yandex.com³ krivopalov@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6047-49>

Abstract. Currently, despite a wide range of high-tech methods for treating patients with chronic rhinitis, the prevalence of the disease remains quite high. In this regard, to improve the effectiveness of surgical treatment of nasal obstruction, the analysis of the features of the use of various laser systems and the development of adequate methods and modes of their action are of undoubted relevance. **Objective.** To study the effect of a semiconductor laser with a wavelength of 445 nm on experimental tissue samples in a constant mode with remote exposure. **Material and methods.** We conducted a study to analyze the superficial remote effect of a semiconductor laser with a wavelength of 445 nm on an experimental sample of pig liver tissue. The effect of eight laser radiation power indicators was studied: from 0.5 to 4.0 W with a step of 0.5 W. The study was carried out at a distance from the radiation source to the sample surface of 3 mm, 5 mm, 10 mm. The exposure time in continuous mode was from 3 to 10 seconds for point exposure and the speed of movement was 2 mm/s for the linear exposure in the remote method. **Results.** The data obtained indicate that in the range of exposure power from 1.5 to 2.5 W at a distance of 10 mm from the object the most pronounced coagulation effect without destruction areas is observed. **Conclusion.** The obtained data of the experimental study indicate that with the remote method of exposure, both in point and linear constant modes, the semiconductor laser with a wavelength of 445 nm has a pronounced coagulation effect. The optimal expression of the coagulation zone without excessive tissue necrosis is observed at a power of 1.5 to 2.5 W at a distance of 10 mm from the radiation source to the study object in point and linear constant modes. The obtained results indicate the possibility of using this method and mode when using the gentlest approach to surgical intervention on the inferior nasal turbinates.

Keywords: laser surgery, laser radiation power 445 nm, experimental study, biological tissue

For citation: Aleksanyan Yu. S., Zakharova G. P., Krivopalov A. A. Experimental study of remote action of 445 nm semiconductor laser on biological model. *Russian Otorhinolaryngology*. 2025;24(4):8-12. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2025-4-8-12>

Введение

Анализ действия лазеров на экспериментальных моделях и использование их в хирургической практике, в том числе в оториноларингологии, обнаружило ряд достоинств лазерного воздействия на ткани [1–3]. Преимущества хирургического применения лазеров в виде селективного, гемостатического воздействия с максимальным сохранением окружающих тканей обусловило возможности использования их в ринологии при проведении операции в амбулаторных условиях под местной анестезией без применения тампонады носа [4, 5].

Синдром носовой обструкции, обусловленный вазомоторным компонентом, встречается от 20 до 40% от числа всех хронических ринитов. При этом эффективность хирургического лечения заболевания остается недостаточно высокой. Минимальные вмешательства на нижних носовых раковинах не дают длительного периода ремиссии и сопровождаются частыми обострениями. Более радикальные методы характеризуются вы-

раженным агрессивным воздействием на слизистую оболочку полости носа, что может приводить к нарушению ее основных функций с развитием субатрофии и последующей атрофии [6].

Преимущества использования лазерных технологий в хирургическом лечении носовой обструкции позволяют снизить риск операционных и послеоперационных осложнений, ускорить реабилитацию пациентов вследствие наиболее щадящего воздействия на слизистую оболочку полости носа [7–9].

В настоящее время в хирургической оториноларингологической практике все чаще применяются полупроводниковые (диодные) лазеры, излучающие свет инфракрасного спектра, основными хромофорами которых служат меланин и гемоглобин. Одну из особенностей диодного лазера представляет его возможность оказывать выраженное коагуляционное действие на ткани [10].

В последние годы в оториноларингологии начинает успешно использоваться полупроводнико-

вый лазер с длиной волны 445 нм. Для этого лазера характерно сочетание гемостатического и резекционного эффекта без формирования обширной зоны коагуляции и некроза тканей. Согласно экспериментальным данным, этот лазер показал эффективность его применения при максимально щадящих и безопасных режимах [11].

Вышеперечисленные качества лазера обосновывают перспективность экспериментального исследования возможности его применения в ринопластике в целях разработки наиболее оптимальных для сохранения функционального состояния слизистой оболочки полости носа хирургических методов лечения.

Цель исследования

Изучение действия полупроводникового лазера с длиной волны 445 нм на экспериментальных образцах ткани в постоянном режиме при дистанционном воздействии.

Материал и методы

Материалом для исследования служила ткань свиной печени. В качестве источника лазерного излучения на экспериментальных образцах использовали полупроводниковый лазер с длиной волны 445 нм.

Нами проведено исследование по изучению поверхностного дистанционного воздействия полупроводникового лазера длиной волны 445 нм на опытный образец ткани свиной печени. Изучалось воздействие восьми показателей мощности лазерного излучения: от 0,5 до 4,0 Вт с шагом 0,5 Вт. Исследование проводилось на расстоянии от источника излучения до поверхности образца 3, 5, 10 мм. Время экспозиции в непрерывном режиме составляло от 3 до 10 секунд для точечного воздействия и со скоростью перемеще-

ния 2 мм/с для линейного воздействия при дистанционном способе.

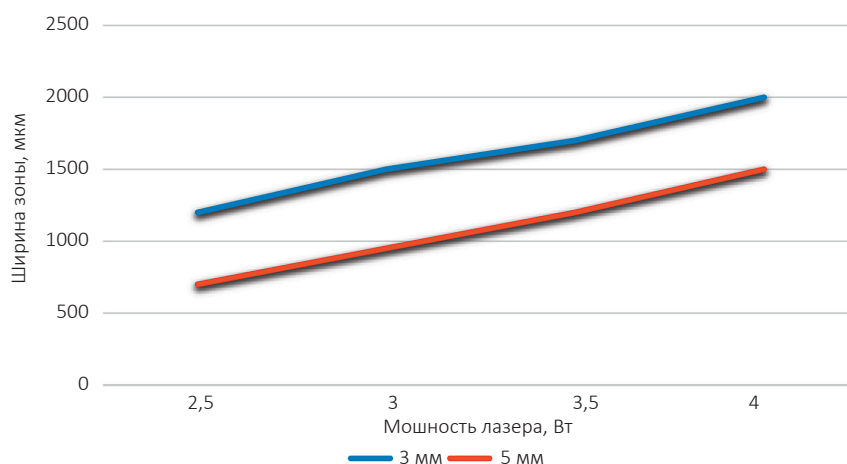
Исследование было проведено в восьми экспозициях трехкратно. Общее количество опытов составило 120. В результате исследования получено 240 микропрепаратов.

При работе с биологической моделью оценивали характер поверхностного лазерного воздействия с помощью изучения макроскопической и микроскопической картины с измерением зон деструкции и коагуляционного некроза. Морфометрическое исследование нативных образцов ткани проводили с помощью калибровочного слайда и операционного микроскопа Carl Zeiss с увеличением $\times 16$. Для микроскопии гистологических препаратов применяли биологический микроскоп Olympus CX41 (стандартное увеличение $\times 100$). Для морфометрического анализа использовали систему «Видеотест». Окрашивание гистологических препаратов производили гематоксилином и эозином.

Результаты

Оценка действия полупроводникового лазера с длиной волны 445 нм на экспериментальную модель путем дистанционного точечного воздействия в постоянном режиме на мощности от 0,5 до 4,0 Вт при длительности от 3 до 10 секунд на расстоянии от объекта 3, 5 и 10 мм показала, что при воздействии лучом полупроводникового лазера длиной волны 445 нм, мощностью менее 1,5 Вт на расстоянии от объекта 3, 5 и 10 мм зона коагуляции практически не прослеживалась независимо от времени воздействия на объект. При этом слабо выраженные участки деструкции появлялись на расстоянии 1 мм.

На мощности от 1,5 до 2,5 Вт на расстоянии от объекта 3 и 5 мм наблюдались зоны коагуляции и



Ширина зоны деструкции при линейном дистанционном воздействии лазера мощностью излучения 2,5, 3,0, 3,5, 4,0 Вт на расстоянии 3 и 5 мм до объекта исследования

Width of the destruction zone under linear remote action of a laser with a radiation power of 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 W at a distance of 3 and 5 mm to the object of study

деструкции, с преобладанием деструкции на расстоянии 3 мм и преобладанием коагуляции на расстоянии 5 мм ($p < 0,5$). На расстоянии 10 мм наблюдались четко выраженные зоны коагуляции без участков деструкции на мощностях 1,5, 2,0 и 2,5 Вт ($p < 0,5$, $p < 0,5$, $p < 0,5$), соответственно при каждом времени воздействия. Полученные данные свидетельствуют, что в этом диапазоне мощности воздействия наблюдается коагуляционное действие, максимально выраженное на расстоянии 10 мм от объекта.

На мощности от 2,5 до 4,0 Вт наблюдалось увеличение зоны деструкции по мере приближения к объекту с расстояния от 10 до 5 и 3 мм ($p < 0,5$, $p < 0,5$, $p < 0,5$), преимущественно выраженное на мощности 4 Вт.

В результате проведенного исследования дистанционного линейного воздействия различной мощности полупроводникового лазера длиной волны 450 нм на экспериментальную модель на расстоянии 10 мм со скоростью 2 мм/с было обнаружено выраженное коагуляционное действие, деструкция ткани практически отсутствовала.

При приближении к объекту исследования до 3 и 5 мм выявлялась зона деструкции, которая увеличивалась по мере уменьшения расстояния до объекта и возрастания мощности воздействия (рис.).

Заключение

Полученные данные экспериментального исследования свидетельствуют о том, что при дистанционном способе воздействия как при точечном, так и при линейном постоянных режимах полупроводниковый лазер с длиной волны 445 нм оказывает выраженное коагуляционное действие. Оптимальная выраженность зоны коагуляции без излишней некротизации ткани наблюдается на мощности от 1,5 до 2,5 Вт на расстоянии 10 мм от источника излучения при длительности воздействия от 3 до 10 сек в случае точечного воздействия и скорости 2 мм/с при линейном постоянном режиме. Полученные результаты указывают на возможность применения данного способа и режима при использовании максимально щадящего подхода к хирургическому вмешательству на нижних носовых раковинах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кривопапов А. А., Шамкина П. А., Ильина В. А., Козырева Е. Е., Панченко П. И. Применение лазера с длиной волны 445 нм в хирургии гортани: экспериментальное исследование. *Российская оториноларингология*. 2022; 5:47–54. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2022-5-47-54>
2. Козырева Е. Е., Шамкина П. А., Ильина В. А., Чуфистова А. В. Экспериментальное исследование параметров и методик хирургического воздействия лазера с длиной волны излучения 445 нм. *Российская оториноларингология*. 2021;20(6):60–63. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-6-60-63>
3. Кривопапов А. А., Коркмазов М. Ю., Шамкина П. А., Глущенко А. И., Панченко П. И. Оценка хирургического воздействия лазерного излучения на биологическую модель гортани. *РМЖ*. 2024;1:57–62.
4. Пискунов Г. З. Внутриносовая лазерная микрохирургия вазомоторного ринита. Применение лазеров в хирургии и медицине: тезисы Международного симпозиума по лазерной хирургии и медицине. М., 1988.
5. Karkos PD, Koskinas IS, Triaridis S, Constantinidis J. Lasers in Otolaryngology: A Laser Odyssey From Carbon Dioxide to True Blue. *Ear Nose Throat J*. 2021 Feb;100(1_suppl):S-3S. <https://doi.org/10.1177/0145561320951681>
6. Крюков А. И., Царапкин Г. Ю., Зайратьянц О. В., Товмасын А. С., Панасов С. А., Артемьева-Карелова А. В. Современные аспекты хирургического лечения вазомоторного ринита. *Российская ринология*. 2017;25(2):10–14. <https://doi.org/10.17116/rosrino201725210-14>
7. Иванов Н. И., Захарова Г. П., Шабалин В. В., Гайдуков С. С. Экспериментальное исследование возможности действия полупроводникового лазера с длиной волны 445 нм для применения в ринохирургии. *Медицинский совет*. 2023;17(23):369–374. <https://doi.org/10.21518/ms2023-468>
8. Иванов Н. И., Захарова Г. П., Шамкина П. А. Экспериментальное исследование возможности действия полупроводникового лазера с длиной волны 445 нм для применения в ринохирургии. XI Петербургский форум оториноларингологов России: материалы научной конференции. СПб., 2022. С. 140.
9. Крюков А. И., Царапкин Г. Ю., Арзамасов С. Г., Панасов С. А. Лазеры в оториноларингологии. *Вестник оториноларингологии*. 2016;81(6):62–66. <https://doi.org/10.17116/otorino20168162-66>
10. Кривопапов А. А., Шамкина П. А., Коркмазов М. Ю., Панченко П. И., Глущенко А. И., Журба В. М., Чучин В. Ю. Хирургический лазер 450 нм в лечении заболеваний верхних дыхательных путей. *РМЖ. Медицинское обозрение*. 2024;8(8):484–492. <https://doi.org/10.32364/2587-6821-2024-8-8-7>
11. Кривопапов А. А., Шамкина П. А., Ильина В. А., Козырева Е. Е., Панченко П. И. Применение лазера с длиной волны 445 нм в хирургии гортани: экспериментальное исследование. *Российская оториноларингология*. 2022;21(5):47–54. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2022-5-47-54>
12. Плужников М. С., Рябова М. А., Карпищенко С. А. Возможности лазерной хирургии в оториноларингологии. *Вестник оториноларингологии*. 2008;4:18–28.

REFERENCES

1. Krivopalov A. A., Shamkina P. A., Il'ina V. A., Kozyreva E. E., Panchenko P. I. Use of 445 nm laser in laryngeal surgery: experimental study. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2022;21(5):47-54. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2022-5-47-54>

2. Kozyreva E. E., Shamkina P. A., Il'ina V. A., Chufistova A. V. Experimental study of parameters and methods of surgical treatment with 445 nm laser. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2021;20(6):60-63. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-6-60-63>
3. Krivopalov A. A., Korkmazov M. Yu., Shamkina P. A., Glushchenko A. I., Panchenko P. I. Surgical effect of laser radiation on the larynx biological model. *RMJ*. 2024;1:57-62. (In Russ.)
4. Piskunov G. Z. Intranasal laser microsurgery of vasomotor rhinitis. The use of lasers in surgery and medicine: proceedings of the International Symposium on Laser Surgery and Medicine. Moscow, 1988. (In Russ.)
5. Karkos PD, Koskinas IS, Triaridis S, Constantinidis J. Lasers in Otolaryngology: A Laser Odyssey From Carbon Dioxide to True Blue. *Ear Nose Throat J*. 2021 Feb;100(1_suppl):1S-3S. <https://doi.org/10.1177/0145561320951681>
6. Krukov A. I., Tsarapkin G. Yu., Zairat'yants O. V., Tovmasian A. S., Panasov S. A., Artem'eva-Karelova A. V. The modern aspects of the surgical treatment of vasomotor rhinitis. *Russian Rhinology*. 2017;25(2):10-14. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/rosrino201725210-14>
7. Ivanov N. I., Zakharova G. P., Shabalin V. V., Gaidukov S. S. Experimental study of the interstitial effect of a semiconductor laser with a wavelength of 445 nm on a biological model. *Meditinskiy sovet = Medical Council*. 2023;17(23):369-374. (In Russ.) <https://doi.org/10.21518/ms2023-468>
8. Ivanov N. I., Zakharova G. P., Shamkina P. A. Experimental study of the possibility of using a semiconductor laser with a wavelength of 445 nm for use in rhinosurgery. XI Saint Petersburg Forum of Otolaryngologists of Russia: materials of the scientific conference. Saint Petersburg, 2022, p. 140. (In Russ.)
9. Krukov A. I., Tsarapkin G. Yu., Arzamazov S. G., Panasov S. A. The application of lasers in otorhinolaryngology. *Vestnik otorinolaringologii*. 2016;81(6):62-66. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/otorino20168162-66>
10. Krivopalov A. A., Shamkina P. A., Korkmazov M. Yu., Panchenko P. I., Glushchenko A. I., Zhurba V. M., Chuchin V. Yu. 450 nm diode laser in the treatment of upper respiratory tract diseases. *Russian Medical Inquiry*. 2024;8(8):484-492. (In Russ.) <https://doi.org/10.32364/2587-6821-2024-8-8-7>
11. Krivopalov A. A., Shamkina P. A., Il'ina V. A., Kozyreva E. E., Panchenko P. I. Use of 445 nm laser in laryngeal surgery: experimental study. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2022;21(5):47-54. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2022-5-47-54>
12. Pluzhnikov M. S., Ryabova M. A., Karpishchenko S. A. Possibilities of laser surgery in otorhinolaryngology. *Vestnik otorinolaringologii*. 2008;4:18-28. (In Russ.)

Вклад авторов

Концепция и дизайн исследования — Г. П. Захарова

Сбор материала — Ю. С. Алексанян

Статистическая обработка материала — Ю. С. Алексанян

Написание текста — Ю. С. Алексанян

Редактирование — Г. П. Захарова, А. А. Кривопалов

Contribution of authors

Concept and design of the study — G. P. Zakharova

Collection of materials — Yu. S. Aleksanyan

Statistical processing of materials — Yu. S. Aleksanyan

Writing of the text — Yu. S. Aleksanyan

Editing — G. P. Zakharova, A. A. Krivopalov

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Информация об авторах

Алексанян Юрий Сейранович — младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела патологии верхних дыхательных путей, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); y_aleksanyan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3170-6834>

Захарова Галина Порфирьевна — доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник отдела разработки и внедрения новых высокотехнологичных методов лечения, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); GalinaZaharovaLOR@yandex.com

Кривопалов Александр Александрович — доктор медицинских наук, руководитель научно-исследовательского отдела патологии верхних дыхательных путей, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); доцент кафедры оториноларингологии, Северо-Западный государственный медицинский университет имени И. И. Мечникова (191015, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41); krivopalov@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6047-4924>

Information about authors

Yurii S. Aleksanian — Junior Researcher of the Research Department of Upper Respiratory Pathology, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., Saint Petersburg, Russian Federation, 190013); y_aleksanyan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3170-6834>

Galina P. Zakharova — Doctor of Sciences (Med.), Leading Researcher, Department of Development and Implementation of High-Tech Treatment Methods, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., Saint Petersburg, Russian Federation, 190013); GalinaZaharovaLOR@yandex.ru

Aleksandr A. Krivopalov — Doctor of Sciences (Med.), Head of the Research Department of Upper Respiratory Pathology, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., Saint Petersburg, Russian Federation, 190013); Docent of the Department of ORL Diseases of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, Mechnikov North-West State Medical University (9, Kirochnaia str., Saint Petersburg, Russian Federation, 191015); krivopalov@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6047-4924>

Поступила / Received 20.02.2025

Поступила после рецензирования / Revised 26.05.2025

Принята в печать / Accepted 07.07.2025