

Экспериментальное исследование интерстициального воздействия полупроводникового лазера с длиной волны 445 нм на биологическую модель

Н.И. Иванов, <https://orcid.org/0000-0003-0937-5370>, Chicago_96@mail.ru

Г.П. Захарова , <https://orcid.org/0000-0002-2316-6279>, GalinaZaharovaLOR@yandex.com

В.В. Шабалин, <https://orcid.org/0000-0002-8168-2343>, vvshabalin@mail.ru

С.С. Гайдуков, <https://orcid.org/0000-0001-7811-9835>, s.gajdukov@niilor.ru

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи; 190013, Россия, Санкт-Петербург, ул. Бронницкая, д. 9

Резюме

Введение. В настоящем исследовании представлены результаты интерстициального воздействия полупроводникового лазера с длиной волны 445 нм на биологические образцы ткани при различной мощности импульсной волны в постоянном режиме при контактном способе.

Цель. Изучить интерстициальное воздействие полупроводникового лазера с длиной волны 445 нм на экспериментальных образцах ткани в постоянном режиме при различной мощности.

Материалы и методы. В качестве экспериментального образца нами использовалась биологическая ткань с развитой сосудистой структурой в виде свиной печени. Источником лазерного излучения служил полупроводниковый лазер с длиной волны 445 нм, с диапазоном мощности от 0,5 до 4 Вт. При работе с биологическими образцами ткани мы оценивали их наружные и внутренние изменения после воздействия лазера. Время экспозиции при интерстициальном воздействии составляло 1 мм/с при глубине погружения лазерного волокна в ткань на 20 мм. Результаты воздействия лазера оценивали по макро- и микроскопической картине экспериментальных образцов с использованием гистологического исследования и морфометрии зон деструкции и коагуляционного некроза, на поперечном разрезе ткани.

Результаты. Экспериментальное исследование свидетельствует, что интерстициальное применение лазера оказывает выраженное коагуляционное, сочетающееся с режущим воздействием на экспериментальные ткани. Оптимальное сочетание коагуляционного и режущего эффекта воздействия сопровождается визуальной сократимостью ткани без избыточной карбонизации при мощности 3,0 Вт.

Заключение. Применение интерстициального воздействия полупроводникового лазера с длиной волны 445 нм на экспериментальных образцах ткани в постоянном режиме при различной мощности обнаружило преобладание коагуляционного эффекта в сочетании с режущим при выраженном сокращении объема ткани. Эксперименты показали, что мощность 3 Вт является оптимальной мощностью лазерного воздействия при интерстициальном способе, при которой наступает выраженное сокращение объема исследуемого препарата без избыточной карбонизации.

Ключевые слова: биологическая ткань, свиная печень, коагуляционное воздействие, режущий эффект, избыточная карбонизация

Для цитирования: Иванов НИ, Захарова ГП, Шабалин ВВ, Гайдуков СС. Экспериментальное исследование интерстициального воздействия полупроводникового лазера с длиной волны 445 нм на биологическую модель. *Медицинский совет*. 2023;17(23):369–374. <https://doi.org/10.21518/ms2023-468>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Experimental study of the interstitial effect of a semiconductor laser with a wavelength of 445 nm on a biological model

Nikita I. Ivanov, <https://orcid.org/0000-0003-0937-5370>, Chicago_96@mail.ru

Galina P. Zakharova , <https://orcid.org/0000-0002-2316-6279>, GalinaZaharovaLOR@yandex.com

Vladimir V. Shabalin, <https://orcid.org/0000-0002-8168-2343>, vvshabalin@mail.ru

Stanislav S. Gaidukov, <https://orcid.org/0000-0001-7811-9835>, s.gajdukov@niilor.ru

Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech; 9, Bronnitskaya St., St Petersburg, 190013, Russia

Abstract

Introduction. This study presents the results of interstitial exposure of a semiconductor laser with a wavelength of 445 nm to biological tissue samples at different pulsed wave power in a constant mode, with a contact method.

Aim. To study the interstitial effect of a semiconductor laser with a wavelength of 445 nm on experimental tissue samples in a constant mode at different power.

Materials and methods. As an experimental sample, we used biological tissue with a developed vascular structure in the form of pig liver. The source of laser radiation was a semiconductor laser with a wavelength of 445 nm, with a power range from 0.5 to 4 watts. When working with biological tissue samples, we evaluated their external and internal changes after laser exposure. The exposure time during interstitial exposure was 1 mm/sec with a 20 mm immersion depth of the laser fiber into the fabric. The results of the macro and microscopic picture were evaluated using histological examination and morphometry of the zones of destruction and coagulation necrosis, on a transverse section of the tissue.

Results. The results of an experimental study indicate that interstitial laser exposure has a pronounced coagulation effect combined with a cutting effect. The optimal combination of coagulation and cutting effect of exposure, accompanied by visual contractility of the tissue, without excessive carbonation at a power of 3.0 watts.

Conclusion. The use of interstitial exposure of a semiconductor laser with a wavelength of 445 nm on experimental tissue samples in a constant mode at different power showed the predominance of the coagulation effect in combination with the cutting effect with a pronounced reduction in tissue volume. Experiments have shown that the power of 3 W is the optimal power of laser exposure in the interstitial method, in which there is a pronounced reduction in the volume of the studied drug without excessive carbonation.

Keywords: experimental study, biological tissue, pig liver, coagulation effect, cutting effect, excess carbonation

For citation: Ivanov NI, Zakharova GP, Shabalin VV, Gaidukov SS. Experimental study of the interstitial effect of a semiconductor laser with a wavelength of 445 nm on a biological model. *Meditsinskiy Sovet*. 2023;17(23):369–374. (In Russ.) <https://doi.org/10.21518/ms2023-468>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Нарушение носового дыхания при заболеваниях носа и околоносовых пазух достаточно часто сопровождается синдромом назальной обструкции, что обуславливает выраженное снижение качества жизни пациентов и представляет медико-социальную проблему [1–8].

Одним из наиболее часто встречающихся в оториноларингологии заболеваний, основным симптомом которого является назальная обструкция, – вазомоторный ринит.

Вазомоторный ринит широко распространен как в России, так и за рубежом [9]. По данным Г.З. Пискунова и С.З. Пискунова, к 2006 г. он составлял 20% среди населения с тенденцией прогрессивного роста. В связи с кратковременной ремиссией и частотой рецидивов при консервативном и нередко излишней травматичностью при хирургическом лечении вазомоторного ринита применение лазера служит достаточно перспективным направлением решения проблемы этого заболевания.

Основным механизмом развития вазомоторного ринита является нарушение нервной регуляции тонуса сосудов слизистой оболочки носа, которое проявляется в виде увеличения объема за счет кровенаполнения в основном нижних носовых раковин, что приводит к обструкции полости носа и нарушению носового дыхания [5, 6]. Назальная обструкция у пациентов с вазомоторным ринитом приводит к развитию осложнений в виде синуситов, отитов, снижается качество жизни у пациентов трудоспособного возраста [1, 6, 9]. Основное направление лечения вазомоторного ринита направлено на предотвращение увеличения объема нижних носовых раковин посредством использования различных методов воздействия на сосуды их кавернозных сплетений [7, 8]. Особенная актуальность применения лазеров в ринологии связана с их возможностью максимально бескровно и щадящего проведения операций, что сокращает риск операционных и послеоперационных осложнений,

способствует более быстрому выздоровлению и реабилитации пациентов, а также, что особенно важно, дает возможность проведения ряда операций в амбулаторных условиях [10, 11].

Учитывая сосудистую дисфункцию механизма патогенеза вазомоторного ринита, наибольшая эффективность хирургической коррекции с помощью лазерного воздействия может быть получена при непосредственной интерстициальной коагуляции сосудов носовой раковины. В то же время подслизистое интерстициальное воздействие представляет наиболее щадящий вариант подхода при лазерной коррекции, т. к. позволяет максимально сохранить реснитчатый эпителий носовых раковин [12–16]. При исследовании действия лазеров как на экспериментальных моделях биологических тканей, так и при применении лазера в хирургии были получены данные, характеризующие особенности их действия [16–20].

В настоящее время самыми используемыми лазерами в оториноларингологии являются полупроводниковые лазеры (диодные лазеры), генерирующие спектр инфракрасного излучения с длиной волны 0,8–0,98 мкм, при этом основными субстратами этого вида излучения являются гемоглобин и меланин, в связи с этим полупроводниковые лазеры характеризуются глубокой пенетрацией в ткани от 3–4 мм [21–25]. В течение последних 10 лет в медицине появилось множество различных лазеров, доступных для работы в оториноларингологии. Одну из последних новинок представляет полупроводниковый лазер с длиной волны 445 нм, который был сертифицирован для медицинского применения в 2018 г. [26–29].

Свойствами данного лазера является сочетание высокого гемостатического эффекта и резекционного воздействия без формирования обширной зоны коагуляции и некроза тканей (за счет проникновения лазерного импульса на глубину не более 1 мм) [30–33]. Однако действие данного лазера при разных режимах и мощностях на экспериментальных моделях изучено недостаточно.

В связи с этим теоретически обоснованные методы его применения в частности у ринологических больных до настоящего времени отсутствуют.

Цель – изучить интерстициальное воздействие полупроводникового лазера с длиной волны 445 нм на экспериментальные образцы ткани в постоянном режиме при различной мощности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследовалось 8 режимов мощности лазерного излучения: от 0,5 до 4,0 Вт с шагом 0,5 Вт. Время экспозиции при интерстициальном воздействии составляло 1 мм/с при глубине погружения лазерного волокна в ткань на 20 мм.

В качестве материала для исследования применялись кусочки свиной печени размером $3 \times 1 \times 1$ см. Источником лазерного излучения при работе на экспериментальных тканях служил полупроводниковый лазер с длиной волны 445 нм (WolfTruBlue; A.R.C. Laser Company).

В работе с биологическими препаратами мы оценивали наружные (место входа лазерного луча) и внутренние изменения образца на поперечном срезе (рис. 1) после воздействия лазера путем изучения микроскопической картины с измерением зон деструкции и коагуляционного некроза. Измерение биологических препаратов проводилось с помощью калибровочного слайда и микроскопа Carl Zeiss с увеличением $\times 16$. Микроскопическое исследование гистологических препаратов, окрашенных гематоксилин-эозином, проводилось с помощью микроскопа Olympus CX41 со встроенной цифровой камерой и системой видео- и фотофиксации MMC Multimeter, при увеличении $\times 100$.

В результате проведенной нами работы было исследовано 8 режимов мощностей (от 0,5 до 4 Вт) в 1 экспозиции трехкратно. Общее количество опытов составило 24, количество макропрепаратов 72, микропрепаратов – 216.

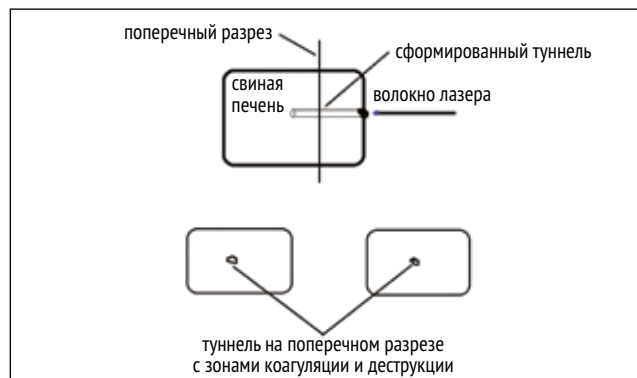
● **Таблица 1.** Среднее значение размеров зон коагуляционного некроза и деструкции наружных отверстий после интерстициального лазерного воздействия

● **Table 1.** The average size of the zones of coagulation necrosis and destruction of external holes after interstitial laser exposure

Режимы мощности лазера, Вт	Средняя ширина зоны деструкции входного отверстия, мкм	Средняя ширина зоны коагуляции входного отверстия, мкм
Интерстициальный способ		
0,5	$400,12 \pm 25,34$	$404,10 \pm 38,65$
1,0	$510,43 \pm 48,12$	$510,00 \pm 56,23$
1,5	$605,72 \pm 70,22$	$600,20 \pm 65,23$
2,0	$850,67 \pm 91,22$	$780,23 \pm 75,23$
2,5	$960,78 \pm 100,32$	$850,20 \pm 85,14$
3,0	$1010,81 \pm 150,42$	$1078,52 \pm 94,26$
3,5	$1570,34 \pm 53,22$	$1400,50 \pm 115,23$
4,0	$2150,67 \pm 340,23$	$1550,55 \pm 212,23$

● **Рисунок 1.** Схема исследования макропрепарата при поперечном разрезе

● **Figure 1.** Scheme of examination of a macroscopic specimen with a transverse section



РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенного нами исследования интерстициального воздействия лазерного луча с частотой 445 нм на экспериментальную модель были получены данные, представленные в табл. 1, 2. Данные при исследовании зоны коагуляционного некроза и деструкции на макропрепаратах с помощью калибровочного слайда под увеличением $\times 16$ и измерение гистологических препаратов с помощью системы ВИДЕОТЕСТ не имели достоверных отличий.

Данные, представленные в табл. 1, указывают, что самая малая ширина зоны коагуляции была выявлена при воздействии лазерного луча с минимальной мощностью воздействия 0,5 Вт (рис. 2).

Наибольшая ширина зоны коагуляции выявлена при воздействии лазера с наибольшей мощностью 4 Вт (рис. 3).

Сравнение ширины зоны коагуляции при интерстициальном способе при разных мощностях воздействия

● **Таблица 2.** Среднее значение размеров зон коагуляционного некроза и деструкции после интерстициального лазерного воздействия на срезе туннеля

● **Table 2.** The average value of the size of the zones of coagulation necrosis and destruction after interstitial laser exposure on sections of macro-preparations

Режимы мощности лазера, Вт	Средняя ширина зоны деструкции на срезе туннеля, мкм	Средняя ширина зоны коагуляции на срезе туннеля, мкм
Интерстициальный способ		
0,5	$500,12 \pm 25,34$	$504,10 \pm 38,65$
1,0	$612,43 \pm 48,12$	$620,00 \pm 56,23$
1,5	$689,72 \pm 70,22$	$700,20 \pm 65,23$
2,0	$852,67 \pm 91,22$	$880,23 \pm 75,23$
2,5	$1001,78 \pm 100,32$	$1100,20 \pm 85,14$
3,0	$1250,81 \pm 150,42$	$1385,52 \pm 94,26$
3,5	$1752,34 \pm 53,22$	$1890,50 \pm 115,23$
4,0	$2252,67 \pm 340,23$	$2501,55 \pm 212,23$

показало корреляцию увеличения ширины зоны коагуляции с увеличением мощности лазера. Ручное измерение биологических материалов сопоставляли с измерением с помощью системы ВИДЕОТЕСТ.

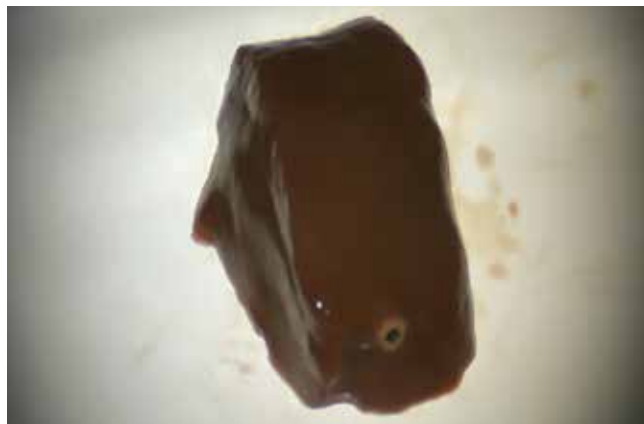
Представленные результаты указывают на возрастание зоны деструкции в области входного отверстия лазерного луча с увеличением мощности лазерного излучения. Соответственно наименьшая ширина зоны деструкции была при мощности 0,5 Вт, наибольшая ширина – при мощности 4 Вт.

Представленные в *табл. 2* данные указывают, что при интерстициальном воздействии на ткани ширина зоны коагуляционного некроза и зоны деструкции увеличивается при увеличении используемой мощности лазера. По сравнению с размерами при поверхностном воздействии обе зоны больше на всех исследуемых мощностях. При этом коагуляционное действие лазера превышает резекционное на всех исследуемых мощностях.

При интерстициальном способе (*рис. 4*) мы отметили также визуальное сокращение ткани при воздействии лазера начиная с мощности в 2 Вт. Выраженное

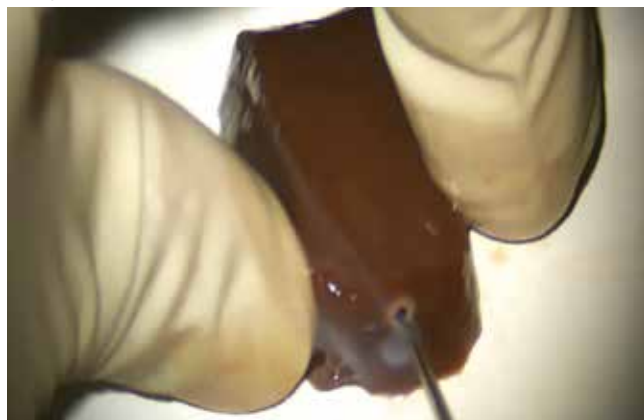
● **Рисунок 2.** Макропрепарат с характерными зонами деструкции и коагуляции после интерстициального воздействия лазера с мощностью 0,5 Вт

● **Figure 2.** A macropreparation with characteristic zones of destruction and coagulation after exposure to a laser with a power of 0.5 watts



● **Рисунок 4.** Интерстициальное воздействие на макропрепарат

● **Figure 4.** The interstitial effect on the macropreparation



сокращение ткани без увеличения зоны избыточной карбонизации было получено при мощности воздействия 3 Вт.

На гистологических препаратах, как и на макропрепаратах, также проводилось измерение зон коагуляционного некроза и деструкции (*рис. 5*). Сравнение полученных результатов достоверных отличий не выявило.

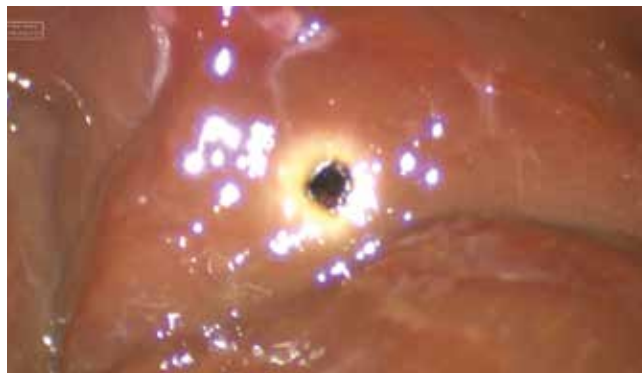
ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования нами обнаружено, что зоны коагуляции и деструкции на поверхности образца препарата в месте входа лазерного луча увеличиваются с увеличением мощности излучения. С другой стороны, имеют место небольшие размеры этих зон в точке входа луча при всех мощностях. Обращала внимание минимальная выраженность поверхностных изменений ткани при использовании интерстициального способа. Что вероятно связано с кратковременной длительностью контакта лазерного луча с поверхностью ткани на входе.

Анализ размеров зон по ходу интерстициального действия лазерного луча по трем срезам показал существенно

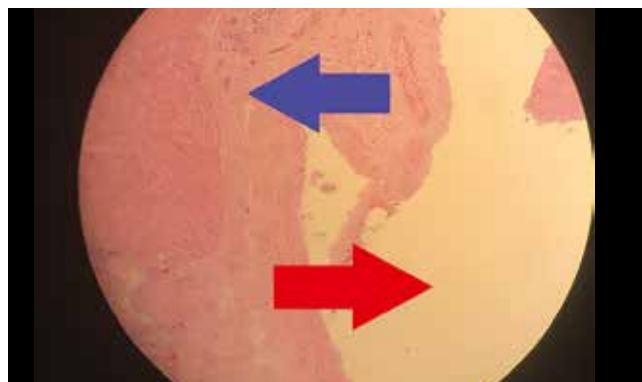
● **Рисунок 3.** Макропрепарат с характерными зонами деструкции и коагуляции после воздействия лазера с мощностью 4 Вт

● **Figure 3.** Macropreparation with characteristic zones of destruction and coagulation after exposure to a laser with a power of 4 watts



● **Рисунок 5.** Гистологический микропрепарат с характерными зонами деструкции (красная стрелка) и коагуляционного некроза (синяя стрелка)

● **Figure 5.** A histological microslide with characteristic zones of destruction (red arrow) and coagulative necrosis (blue arrow) is presented



более выраженное коагуляционное действие лазера по сравнению с резекционным по всему ходу канала. Что вероятно связано с механизмом интерстициального действия лазера в канале и возможностью прохождения волокна световода с минимальным препятствием вследствие режущего эффекта лазерного луча, который позволяет произвести выраженное коагуляционное действие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные нами данные свидетельствуют, что при интерстициальном способе применения данный лазер оказывает коагуляционно-режущее действие. При этом коагуляционное действие существенно преобладает. Сочетание коагуляционного и режущего эффектов обосновывает эффективность применения данного лазера на обильно кровоснабжаемых тканях путем интерстициального способа воздействия. Это позволит избежать кровотечения из паренхимы тканей и будет способствовать сокращению ткани в объеме. Кроме того, сочетание коагуляционного и режущего эффектов способствует

более свободному продвижению волокна световода по его каналу и усилению коагуляционного эффекта.

Эксперименты показали, что мощность 3 Вт является оптимальной мощностью лазерного воздействия при интерстициальном способе, при котором наступает выраженное сокращение объема исследуемого препарата без избыточной карбонизации.

Интерстициальный способ воздействия на экспериментальные ткани обладает сочетанием коагуляционного и режущего действий, сопровождающихся сокращением объема ткани с минимальными изменениями на поверхности в месте входа лазерного луча. Он может быть использован для разработки метода хирургического лечения вазомоторного ринита для оптимального сокращения объема ткани носовых раковин без формирования обширной зоны поражения слизистой оболочки полости носа с сохранением функциональной активности реснитчатого эпителия.

Поступила / Received 26.10.2023
Поступила после рецензирования / Revised 23.11.2023
Принята в печать / Accepted 24.11.2023

Список литературы / References

1. Пискунов ГЗ. Физиология и патофизиология носа и околоносовых пазух. *Российская ринология*. 2017;25(3):51–57. <https://doi.org/10.17116/rostrino201725351-57>. Piskunov GZ. Normal and pathological physiology of the nose and paranasal sinuses. *Russian Rhinology*. 2017;25(3):51–57. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/rostrino201725351-57>.
2. Villwock JA, Kuppersmith RB. Nasal Airway Obstruction. *Otolaryngol Clin North Am*. 2018;51(5):xix-xx. <https://doi.org/10.1016/j.otc.2018.06.002>.
3. Mohan S, Fuller JC, Ford SF, Lindsay RW. Diagnostic and Therapeutic Management of Nasal Airway Obstruction: Advances in Diagnosis and Treatment. *JAMA Facial Plast Surg*. 2018;20(5):409–418. <https://doi.org/10.1001/jamafacial.2018.0279>.
4. Schumacher MJ. Nasal congestion and airway obstruction: the validity of available objective and subjective measures. *Curr Allergy Asthma Rep*. 2002;2(3):245–251. <https://doi.org/10.1007/s11882-002-0026-x>.
5. Будкова МА, Артемьева ЕС. Особенности нарушений носового дыхания у пациентов с назальной обструкцией. *Российская оториноларингология*. 2019;18(1):16–23. Budkova MA, Artemyeva ES. The specific features of nasal breathing disorders in patients with nasal obstruction. *Rossiiskaya Otorinolaringologiya*. 2019;18(1):16–23. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2019-1-16-23>.
6. Павлова СС, Корнеев АА, Дворянчиков ВВ, Рязанцев СВ, Рязанцева ЕС, Донская ОС. Оценка потерь здоровья населения в результате назальной обструкции на основе концепции глобального бремени болезней: общие подходы и направления исследований. *Медицинский совет*. 2021;12(12):138–145. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2021-12-138-145>. Pavlova SS, Korneenko AA, Dvorianchikov VV, Ryazantsev SV, Ryazantseva ES, Donskaya OS. Assessment of population health losses due to nasal obstruction based on the concept of the global burden of disease: general approaches and research directions. *Meditsinskiy Sovet*. 2021;12(12):138–145. (In Russ.) <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2021-12-138-145>.
7. Schuman TA, Senior BA. Treatment Paradigm for Nasal Airway Obstruction. *Otolaryngol Clin North Am*. 2018;51(5):873–882. <https://doi.org/10.1016/j.otc.2018.05.003>.
8. Рязанцев СВ, Павлова СС. Затрудненное носовое дыхание в практике оториноларинголога: чем помочь? *Российская оториноларингология*. 2020;19(2):107–115. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2020-2-107-115>. Ryazantsev SV, Pavlova SS. Difficult nasal breathing in the ENT-practice: how to help? *Rossiiskaya Otorinolaringologiya*. 2020;19(2):107–115. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2020-2-107-115>.
9. Лопатин АС. *Руним*. М.: Литтерра; 2010. 424 с. Режим доступа: <https://www.rosmedlib.ru/book/ISBN9785904090302.html>.
10. Плужников МС, Карпищенко СА, Рябова МА. Возможности лазерной хирургии в оториноларингологии. *Вестник оториноларингологии*. 2008;4(1):18–28. Режим доступа: <https://elibrary.fesmu.ru/elib/Article.aspx?id=186528>. Pluzhnikov MS, Karpishchenko SA, Ryabova MA. Possibilities of laser surgery in otorhinolaryngology. *Vestnik Oto-Rino-Laringologii*. 2008;4(1):18–28. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.fesmu.ru/elib/Article.aspx?id=186528>.
11. Лапченко АС, Вознесенский НЛ. Применение хирургического CO₂-лазера при некоторых патологических состояниях ЛОР-органов. *Вестник оториноларингологии*. 1989;4(1):70–72. Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2508293/>. Lapchenko AS, Voznesensky NL. The use of surgical CO₂-laser in some pathological conditions of ENT-organs. *Vestnik Oto-Rino-Laringologii*. 1989;4(1):70–72. (In Russ.) Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2508293/>.
12. Пискунов ГЗ. Внутриносовая лазерная микрохирургия вазомоторного ринита. В: Скобелкин ОК (ред.). *Применение лазеров в хирургии и медицине: (Тез. Междунар. симпозиума по лазер. хирургии и медицине)*, 18–20 окт. 1988 г., Самарканд. М.; 1988. Ч. 2. С. 242–244.
13. Сусчева НА, Семенов ФВ. Оптимизация режимов и способов воздействия на ткани нижних носовых раковин диодного и гольмиевого лазеров при лечении больных вазомоторным ринитом. *Российская ринология*. 2017;25(3):16–23. <https://doi.org/10.17116/rostrino201725316-23>. Suscheva NA, Semenov FV. Optimization of the regimen and methods of the influence of the diode and holmium lasers on the tissues of the inferior nasal conchae for the treatment of the patients presenting with vasomotor rhinitis. *Russian Rhinology*. 2017;25(3):16–23. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/rostrino201725316-23>.
14. Kissler U, Stelter K, Gürkür R, Patscheider M, Schrötzmair F, Bytyci R et al. Diode laser versus radiofrequency treatment of the inferior turbinate – a randomized clinical trial. *Rhinology*. 2014;52(4):424–430. <https://doi.org/10.4193/Rhino14.001>.
15. Janda P, Sroka R, Baumgartner R, Grevers G, Leunig A. Laser treatment of hyperplastic inferior nasal turbinates: a review. *Lasers Surg Med*. 2001;28(5):404–413. <https://doi.org/10.1002/lsm.1068>.
16. Janda P, Sroka R, Tauber S, Baumgartner R, Grevers G, Leunig A. Diode laser treatment of hyperplastic inferior nasal turbinates. *Lasers Surg Med*. 2000;27(2):129–139. [https://doi.org/10.1002/1096-9101\(2000\)27:2<129::aid-lsm4>3.0.co;2-r](https://doi.org/10.1002/1096-9101(2000)27:2<129::aid-lsm4>3.0.co;2-r).
17. Иванов НИ, Захарова ГП, Шамкина ПА, Кривопалов АА, Будкова МА. Экспериментальное исследование действия полупроводникового лазера с длиной волны 445 нм на биологическую модель. *Российская ринология*. 2022;30(4):238–242. <https://doi.org/10.17116/rostrino20223004238>. Ivanov NI, Zakharova GP, Shamkina PA, Krivopalov AA, Budkovaia MA. Experimental study of the effect of 445 nm wavelength semiconductor laser in a biological model. *Russian Rhinology*. 2022;30(4):238–242. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/rostrino20223004238>.
18. Matys J, Flieger R, Dominiak M. Effect of diode lasers with wavelength of 445 and 980 nm on a temperature rise when uncovering implants for second stage surgery: An ex-vivo study in pigs. *Adv Clin Exp Med*. 2017;26(4):687–693. <https://doi.org/10.17219/acem/68943>.

19. Saberi S, Rouzsaz M, Shafie F, Einizadeh S, Kharazifard MJ, Shahabi S. The effect of laser-activated bleaching with 445 nm and 915 nm diode lasers on enamel micro-hardness; an in vitro study. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2020;31:101952. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2020.101952>.
20. Reichelt J, Winter J, Meister J, Frentzen M, Kraus D. A novel blue light laser system for surgical applications in dentistry: evaluation of specific laser-tissue interactions in monolayer cultures. *Clin Oral Investig*. 2017;21(4):985–994. <https://doi.org/10.1007/s00784-016-1864-6>.
21. Карпищенко СА, Улюпов МЮ, Иванцов АО, Малкова МЕ. Экспериментальное обоснование выбора режима лазерного излучения с длиной волны 980 нм для рассечения рубцов верхних дыхательных путей. *Российская оториноларингология*. 2020;19(2):38–41. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2020-2-38-41>.
Karpishchenko SA, Ulyupov MYu, Ivantsov AO, Malkova ME. Mode selection of laser radiation with a wavelength of 980 nm for dissection of upper airway scars. Experimental study. *Rossiiskaya Otorinolaringologiya*. 2020;19(2):38–41. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2020-2-38-41>.
22. Плужников МС, Лопотко АИ, Рябова МА. *Лазерная медицина в оториноларингологии*. Минск: ППАНАЛМ, БДП; 2000. 224 с.
23. Lau K, Stavrakas M, Ray J. Lasers in Rhinology-An Update. *Ear Nose Throat J*. 2021;100(1_suppl):77S–82S. <https://doi.org/10.1177/0145561320940115>.
24. Блоцкий АА, Шмелёва НВ. Применение лазерной и эндоскопической хирургии в оториноларингологии (обзор литературы). *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. 2009;34:42–45. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-lazernoy-i-endoskopicheskoy-hirurgii-v-otorinolaringologii-obzor-literatury>.
Blotsky AA, Shmeleva NV. Application of laser and endoscopic surgery in otorhinolaryngology (review). *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration*. 2009;34:42–45. (In Russ.) Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-lazernoy-i-endoskopicheskoy-hirurgii-v-otorinolaringologii-obzor-literatury>.
25. Philipp CM, Bertien HP. Lasers in otorhinolaryngology. Physical and medical principles. *Laryngorhinootologie*. 2003;82(Suppl 1):S1–20. <https://doi.org/10.1055/s-2003-38930>.
26. Кривопапов АА, Рязанцев СВ, Иванов НИ, Захарова ГП. Преимущества лазерной хирургии в ринологии. *Российская ринология*. 2022;30(4):276–281. <https://doi.org/10.17116/rosrino.202230041276>.
Krivopalov AA, Ryazantsev SV, Ivanov NI, Zakharova GP. Advantages of laser surgery in rhinology. *Russian Rhinology*. 2022;30(4):276–281. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/rosrino.202230041276>.
27. Braun A, Kettner M, Berthold M, Wenzler JS, Heymann PGB, Frankenberger R. Efficiency of soft tissue incision with a novel 445-nm semiconductor laser. *Lasers Med Sci*. 2018;33(1):27–33. <https://doi.org/10.1007/s10103-017-2320-9>.
28. Кривопапов АА, Шамкина ПА, Ильина ВА, Козырева ЕЕ, Панченко ПИ. 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>.
Krivopalov AA, Shamkina PA, Il'ina VA, Kozyreva EE, Panchenko PI. 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>.
29. Кривопапов АА, Шамкина ПА, Степанова ЮЕ, Корень ЕЕ, Готовяхина ТВ. Хирургия доброкачественных и опухолеподобных образований гортани с использованием полупроводникового лазера 445 нм: послеоперационное ведение. *Медицинский совет*. 2021;(18):178–183. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2021-18-178-183>.
Krivopalov AA, Shamkina PA, Stepanova YuE, Koren EE, Gotovyakhina TV. Endolaryngeal surgery of benign vocal fold lesions with a 445 nm semiconductor laser: postoperative management. *Meditsinskiy Sovet*. 2021;(18):178–183. (In Russ.) <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2021-18-178-183>.
30. Hess MM, Fleischer S, Ernstberger M. New 445 nm blue laser for laryngeal surgery combines photoangiolytic and cutting properties. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2018;275(6):1557–1567. <https://doi.org/10.1007/s00405-018-4974-8>.
31. Nguyen DD, Pang J-Y, Madill C, Novakovic D. Effects of 445-nm Laser on Vessels of Chick Chorioallantoic Membrane with Implications to Microlaryngeal Laser Surgery. *Laryngoscope*. 2021;131(6):1950–1956. <https://doi.org/10.1002/lary.29354>.
32. Lin R, Iakovlev V, Streutker C, Lee D, Al-Ali M, Anderson J. Blue Light Laser Results in Less Vocal Fold Scarring Compared to KTP Laser in Normal Rat Vocal Folds. *Laryngoscope*. 2021;131(4):853–858. <https://doi.org/10.1002/lary.28892>.
33. Козырева ЕЕ, Шамкина ПА, Ильина ВА, Чуфистова АВ. 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>.
Kozyreva EE, Shamkina PA, Il'ina VA, Chufistova AV. 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>.

Вклад авторов: авторы внесли равный вклад на всех этапах работы и написания статьи.

Contribution of authors: all authors contributed equally to this work and writing of the article at all stages.

Информация об авторах:

Иванов Никита Игоревич, аспирант научно-исследовательского отдела патологии верхних дыхательных путей, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи; 190013, Россия, Санкт-Петербург, ул. Бронницкая, д. 9; Chicago_96@mail.ru

Захарова Галина Порфирьевна, д.м.н., ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отдела патологии верхних дыхательных путей, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи; 190013, Россия, Санкт-Петербург, ул. Бронницкая, д. 9; GalinaZaharovaLOR@yandex.com

Шабалин Владимир Владимирович, д.б.н., старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела патологии верхних дыхательных путей, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи; 190013, Россия, Санкт-Петербург, ул. Бронницкая, д. 9; vvshabalin@mail.ru

Гайдуков Станислав Сергеевич, научный сотрудник научно-исследовательского отдела патологии верхних дыхательных путей, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи; 190013, Россия, Санкт-Петербург, ул. Бронницкая, д. 9; s.gajdukov@niilor.ru

Information about the authors:

Nikita I. Ivanov, Postgraduate Student of the Department for Development and Implementation of New High-Tech Treatment Methods, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech; 9, Bronnitskaya St., St Petersburg, 190013, Russia; Chicago_96@mail.ru

Galina P. Zakharova, Dr. Sci. (Med.), Leading Researcher of the Department for Development and Implementation of New High-Tech Treatment Methods, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech; 9, Bronnitskaya St., St Petersburg, 190013, Russia; GalinaZaharovaLOR@yandex.com

Vladimir V. Shabalin, Dr. Sci. (Biol.), Leading Researcher of the Department for Development and Implementation of New High-Tech Treatment Methods, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech; 9, Bronnitskaya St., St Petersburg, 190013, Russia; vvshabalin@mail.ru

Stanislav S. Gaidukov, Researcher of the Department for Development and Implementation of New High-Tech Treatment Methods, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech; 9, Bronnitskaya St., St Petersburg, 190013, Russia; s.gajdukov@niilor.ru