

УДК 616.22-006-089-092.4/.9:615.849.19
<https://doi.org/10.18692/1810-4800-2022-5-47-54>

Применение лазера с длиной волны 445 нм в хирургии гортани: экспериментальное исследование

А. А. Кривопапов¹, П. А. Шамкина¹, В. А. Ильина², Е. Е. Козырева¹, П. И. Панченко¹

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи,
Санкт-Петербург, 190013, Россия

² Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И. И. Джанелидзе,
Санкт-Петербург, 192242, Россия

Введение. Проблема фонохирургии на сегодняшний день остается актуальной, так как распространенность доброкачественных и опухолеподобных заболеваний гортани составляет до 55–70% среди заболеваний верхних дыхательных путей. Среди лазерных систем в фонохирургии на сегодняшний день активно применяются фотоангиолитические лазеры. В 2018 г. на медицинском рынке был сертифицирован новый хирургический лазер с длиной волны 445 нм (синий лазер TruBlue, A.R.C. Laser Company), обладающий высоким гемостатическим и резекционным эффектами. Работа лазера TruBlue возможна в атмосфере инертного газа – гелия – за счет подключения дополнительной установки Flow Control. На сегодняшний день в иностранной и российской литературе крайне мало работ, посвященных применению данной лазерной установки в ЛОР-практике, в частности в ларингологии. Цель исследования. Подбор оптимального режима работы лазера с длиной волны 445 нм для использования в фонохирургии на основании экспериментального исследования биологического материала. Материалы и методы. Проведено экспериментальное исследование на модели гортани мышечной ткани курицы с использованием лазера 445 нм в контактном постоянном и импульсном режимах, в том числе в условиях атмосферы инертного газа (гелия). Путем гистологического исследования на системе для морфометрии измеряли зоны деструкции, коагуляционного некроза и ишемии. Общее количество опытов составило 142, общее количество исследованных микропрепаратов – 284. Результаты. При работе в постоянном режиме мы получили обширную зону термического воздействия, что в клинической практике коррелирует с глубоким повреждением голосовой складки и нарушением ее вибраторной функции. Этим подтверждается аксиома о том, что оптимальным режимом работы лазера в ларингологии является импульсное воздействие. По результатам оценки импульсного режима при стандартных настройках лазера (без подачи гелия) самыми оптимальными для практической деятельности в плане комбинированного резекционного и коагуляционного эффектов оказались параметры с наименьшей паузой между импульсами, т. е. 8 Вт импульс 10–20 мс, 9–10 Вт импульс 10 мс при паузе 150 мс. Эти параметры являются допустимыми для применения в фонохирургии, так как при данных режимах максимальная зона деструкции не превышает 600 нм. При работе в атмосфере инертного газа мы рекомендуем применять лазер на мощности 6–8 Вт при длительности импульса 10 мс при паузе 100–130 мс, а при повышении импульса удлинять паузу 6–7 Вт 20 мс 120–130 мс, 8 Вт 20 мс при паузе 130 мс. Заключение. В ходе эксперимента синий лазер показал высокий резекционный и коагуляционный эффекты. По результатам проведенного исследования были получены параметры лазерного воздействия, применение которых оптимально для хирургического лечения доброкачественных и опухолеподобных заболеваний гортани.

Ключевые слова: лазерная хирургия, доброкачественные новообразования гортани, фонохирургия, лазер 445 нм, синий лазер, экспериментальное исследование, гистологическое исследование.

Для цитирования: 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>

Use of 445 nm laser in laryngeal surgery: experimental study

A. A. Krivopalov¹, P. A. Shamkina¹, V. A. Il'ina², E. E. Kozyreva¹, P. I. Panchenko¹

¹ Saint Petersburg Institute of Ear, Throat, Nose and Speech, Saint Petersburg, 190013, Russia

² Dzhanelidze Saint Petersburg Research Institute of Emergency Medicine, Saint Petersburg, 192242, Russia

Introduction. The problem of phonosurgery remains relevant today since the prevalence of benign and tumor-like laryngeal lesions is up to 55%–70% among diseases of the upper respiratory tract. Photoangiolytic lasers are actively used among laser systems in phonosurgery today. A new 445 nm surgical laser (TruBlue, A.R.C. Laser Company), having a high hemostatic and resection effects, was certified for the medical market in 2018. TruBlue laser operation is possible in an atmosphere of inert gas (helium) by connecting the optional Flow Control unit. To date, there are very few works in foreign and Russian literature devoted to the use of that laser device in ENT practice, particularly, in laryngology. **Objective.** To select the optimal 445 nm laser mode for use in phonosurgery based on an experimental study of biological material. **Material and methods.** An experimental study was conducted on a model of the larynx (chicken muscle tissue) using a 445 nm laser in contact constant and pulsed modes, including an atmosphere of an inert gas (helium). The zones of destruction, coagulation necrosis, and ischemia were measured by histological examination using a morphometry system. The total number of experiments was 142, the total number of micro-preparations studied was 284. **Results.** While working in continuous wave mode, we received an extensive zone of thermal exposure, which in clinical practice correlates with deep damage of the vocal fold and violation of its vibratory function. This confirms the axiom that the optimal mode for laryngeal surgery is a pulsed one. According to the evaluation results of the pulse mode at standard laser settings (without helium supply), the parameters with the smallest pause between pulses—that is, 8 W pulse 10–20 ms, 9–10 W pulse 10 ms with a pause of 150 ms—were the most optimal for practical activity in terms of combined resection and coagulation effect. These parameters are acceptable for use in phonosurgery since the maximum destruction zone does not exceed 600 nm. While working in an inert gas atmosphere, we recommend using a laser at a power of 6–8 W with a pulse duration of 10 ms and a pause of 100–130 ms; with an increase in the pulse, lengthen the pause 6–7 W 20 ms 120–130 ms, 8 W 20 ms with a pause of 130 ms. **Conclusion.** During the experiment, blue laser showed high resection and coagulation effects. According to the results of the study, the parameters of laser exposure were obtained, which are optimal for the surgical treatment of benign and tumor-like laryngeal lesions.

Keywords: laser surgery, benign laryngeal neoplasms, phonosurgery, 445 nm laser, TruBlue laser, experimental study, histological study.

For citation: 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. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2022-5-47-54>

Введение

За последние 30–40 лет лазерная медицина получила широкое распространение в России и за рубежом. Благодаря разнообразным эффектам взаимодействия лазерного излучения с биологической тканью лазеры нашли применение как в терапевтических специальностях, так и в хирургии [1, 2]. После апробации высокоэнергетических лазеров на экспериментальных моделях, а потом и на практике были выявлены преимущества лазерного излучения перед традиционной «холодной» хирургией, которые можно условно разделить на две группы: интраоперационные и послеоперационные. К первым относят: хороший гемостатический эффект, что обеспечивает сухое операционное поле, возможность точного и селективного рассечения тканей с оценкой глубины и площади воздействия, асептичность и абластичность, сокращение длительности вмешательства, возможность амбулаторного выполнения манипуляций. Во вторую группу были выделены: бы-

строе наступление ожидаемого клинического эффекта, уменьшение количества ранних и отдаленных осложнений, ускорение периода [3–5]. Благодаря всем вышеперечисленным преимуществам лазеры приобрели большую популярность и в ЛОР-практике, в частности – ларингологии, и на сегодняшний день в мировой литературе накоплен обширный опыт применения высокоинтенсивного лазерного излучения для лечения патологии гортани [2, 6–8].

Однако до сих пор остается дискуссионным вопрос о выборе типа лазера и его параметров при хирургическом лечении заболеваний гортани [9–12].

Проблема фонохирургии на сегодняшний день остается актуальной, так как распространенность доброкачественных и опухолеподобных заболеваний гортани составляет 55–70% среди заболеваний верхних дыхательных путей [13, 14].

Среди лазерных систем в фонохирургии на сегодняшний день активно применяются фото-

ангиолитические лазеры [15, 16], позволяющие коагулировать субэпителиальные кровеносные сосуды без разрушения поверхностного эпителия с минимальным воздействием на периваскулярные ткани и быстро достигать как эндоскопического, так и функционального восстановления гортани [17–19].

В 2018 г. на медицинском рынке был сертифицирован новый хирургический лазер с длиной волны 445 нм (синий лазер TruBlue, A.R.C. Laser Company). Среди эффектов данного лазера: высокий гемостатический и резекционный эффекты при отсутствии обширного повреждения окружающих тканей за счет глубины лазерного воздействия до 1 мм [20–22]. Работа лазера TruBlue возможна в атмосфере инертного газа – гелия – за счет подключения дополнительной установки Flow Control. Гелий вытесняет кислород из операционного поля, что ведет к отсутствию эффекта горения. Таким образом, в ходе операции минимизируется эффект карбонизации биологических тканей при работе синего лазера, что, в свою очередь, уменьшает термическое повреждение окружающих здоровых тканей. Помимо этого, рабочая область освобождается от возникающего дыма, за счет чего сохраняется отличная визуализация операционного поля [20, 23, 24].

В настоящее время в иностранной и российской литературе крайне мало работ, посвященных применению данной лазерной установки в ЛОР-практике, в частности в ларингологии, что делает актуальным проведение лабораторных и клинических работ, оценивающих эффективность лазера с длиной волны 445 нм.

Цель исследования

Подбор оптимального режима работы лазера с длиной волны 445 нм для использования в фо-

нохирургии на основании экспериментального исследования биологического материала.

Материалы и методы

Для проведения экспериментального исследования в качестве модели биологической ткани с оптическими свойствами, приближенными к тканям гортани, была выбрана мышечная ткань курицы.

В качестве источника лазерного излучения использовался полупроводниковый лазер с длиной волны 445 нм (TruBlue). Применялось контактное воздействие при постоянном и импульсном режимах работы (табл. 1).

При постоянном режиме диапазон мощности составлял от минимальной 0,5 до максимальной 4 Вт (шаг 0,5 Вт). Следует отметить, что при подключении гелиевой установки максимальная мощность при работе в постоянном режиме увеличивается до 10 Вт.

Первым этапом при работе в импульсном режиме оценивали мощности 8–10 Вт при длительности импульса 10–30 мс и паузе 150–300 мс. Эти параметры были использованы в клинических примерах в работах иностранных коллег при удалении доброкачественных образований гортани [20, 24], поэтому данные значения стали для нас отправной точкой в подборе оптимальных лазерных характеристик.

Вторым этапом в импульсном режиме работали в атмосфере инертного газа (при подаче гелия) и оценивали мощности 6–8 Вт при длительности импульса 10–20–30 мс и паузе 100–130 мс. Подключение установки Flow Control позволило изменить параметры лазерного воздействия, а именно установить паузу между импульсами менее 150 мс, зафиксированной как минимальная в стандартном режиме работы.

Таблица 1
Оцениваемые параметры лазерного воздействия в ходе экспериментального исследования

Estimated parameters of laser exposure during experimental study

Table 1

Биологический материал	Препараты мышечной ткани курицы		
Источник лазерного излучения	Полупроводниковый лазер с длиной волны 445 нм (TruBlue; A.R.C. Laser Company)		
Режимы воздействия	Контактно, постоянный режим (CW)	Контактно, импульсный режим (P)	Контактно, импульсный режим (P) в атмосфере инертного газа – He
Диапазон мощности	0,5–4 Вт, шаг 0,5 Вт	8–10 Вт, шаг 1 Вт	6–8 Вт, шаг 1 Вт
Время экспозиции	10 с (2 мм/с)	Импульс 10–20–30 мс, пауза 150–200–250–300 мс	Импульс 10–20–30 мс, пауза 100–110–130 мс
Способы оценки	Микроскопическая оценка (гистологическое исследование)		
Оцениваемые параметры	Зона деструкции. Зона коагуляционного некроза. Зона ишемии		



Рис. 1. Макропрепарат биологической модели мышечной ткани курицы
Fig. 1. Macropreparation of a biological model of chicken muscle tissue

В ходе эксперимента оценивали результаты микроскопической картины, путем гистологического исследования измеряли зоны деструкции, коагуляционного некроза и ишемии (рис. 1, 2). Исследование проводилось с помощью биологического микроскопа «Биолам М-1» (АО «ЛОМО», Россия) со стандартным увеличением 40/100 крат. Окрашивание гистологических препаратов производилось по гематоксилин-эозину, в некоторых случаях – трихромом по Массону. Для измерения заданных параметров использовалась система для морфометрии Видеотест.

Как в постоянном режиме, так и в импульсном каждый параметр был исследован двукратно, таким образом, общее количество опытов составило 142, общее количество исследованных микропрепаратов – 284.

Результаты

Главной задачей фонохирургии является восстановление голосовой функции, что достигается в результате удаления образований гортани при максимальном сохранении гистологической структуры голосовых складок. Минимальные реактивные явления и быстрое восстановление наблюдаются при работе в пределах эпителиального слоя и поверхностного слоя собственной пластинки слизистой оболочки.

По данным литературного обзора, толщина эпителия голосовой складки вместе с поверхностным слоем собственной пластинки составляет 400–600 мкм [25, 26].

Исходя из этого нашей задачей было подобрать оптимальные параметры лазерного воздействия, при которых максимальная глубина повреждения (сумма трех оцениваемых зон) будет не более 600 мкм, т. е. не будет превышать толщину слоя ткани до функционально значимых зон голосовой складки.

При работе в постоянном режиме по результатам оценки лазерного воздействия мы получили

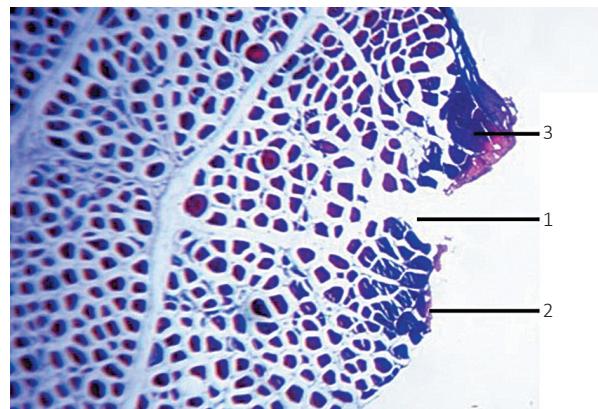


Рис. 2. Микропрепарат, импульсный режим 8 Вт, импульс 30 мс, пауза 150 мс, увеличение $\times 40$. Окрашка гематоксилин-эозином. Цифрами обозначены зоны деструкции (1), некроза (2) и ишемии (3)

Fig. 2. Micropreparation in pulsed mode power 8 W, 30 ms pause 150 ms, magnification $\times 40$. Staining with hematoxylin-eosin. Numbers indicate the zones of destruction (1), necrosis (2) and ischemia (3)

обширную зону термического воздействия, что в клинической практике коррелирует с глубоким повреждением голосовой складки и нарушением ее вибраторной функции (табл. 2).

Этим подтверждаются аксиома о том, что оптимальным режимом работы лазера в ларингологии является импульсное воздействие.

Первый этап оценки импульсного режима проводился при стандартных настройках лазера (без подачи в операционное поле гелия). Подбор оптимальных параметров в стандартном режиме был обусловлен периодическим отсутствием гелиевой смеси и необходимостью выполнения хирургических задач без подключения установки Flow Control.

По оцениваемым параметрам мы получили следующий результат: все параметры, отмечен-

Таблица 2
Результаты максимальной глубины повреждения (сумма всех трех зон) при постоянном воздействии лазера

Table 2
Results of maximum damage depth (sum of all three zones) in continuous wave laser mode

Мощность, Вт	Общая зона поражения
0,5	603,62 $\pm$ 75,54*
1	750,78 $\pm$ 93,38
1,5	820,8 $\pm$ 119,55
2	1185,7 $\pm$ 155,56
2,5	1319,93 $\pm$ 189,89
3	1525,91 $\pm$ 277,66
3,5	2419,08 $\pm$ 402,35
4	3004,11 $\pm$ 514,8

*Измерения в мкм

Таблица 3

Результаты максимальной глубины повреждения (сумма всех трех зон) при импульсном режиме лазера при стандартных настройках

Table 3

Results of the maximum damage depth (the sum of all three zones) in pulsed laser mode at standard settings

8 Вт	10 мс	20 мс	30 мс
150 мс	357,88 ± 66,26*	510,44 ± 77,56	666,35 ± 78,39
200 мс	204,71 ± 29,1	335,12 ± 53,71	465,80 ± 75,71
250 мс	171,55 ± 41,8	219,94 ± 43,38	292,54 ± 62,08
300 мс	137,54 ± 22,63	168,94 ± 36,62	229,77 ± 49,52
9 Вт	10 мс	20 мс	30 мс
150 мс	428,83 ± 78,96*	689,65 ± 84,55	835,58 ± 119,51
200 мс	234,56 ± 48,03	564,02 ± 35,71	700,54 ± 95,92
250 мс	200,65 ± 45,58	358,0 ± 42,42	527,31 ± 64,08
300 мс	175,25 ± 27,18	265,63 ± 58,79	401,49 ± 64,99
10 Вт	10 мс	20 мс	30 мс
150 мс	513,45 ± 85,69*	820,08 ± 103,85	923,55 ± 108,35
200 мс	370,88 ± 61,99	705,95 ± 100,41	850,59 ± 109,95
250 мс	290,29 ± 61,61	537,20 ± 55,93	700,61 ± 96,97
300 мс	217,59 ± 58,14	395,58 ± 67,46	520,28 ± 75,14

* Измерения в мкм.

Таблица 4

Результаты максимальной глубины повреждения (сумма всех трех зон) в импульсной режиме лазера при работе в атмосфере инертного газа

Table 4

Results of the maximum damage depth (the sum of all three zones) in pulsed laser mode in an inert atmosphere

6 Вт	10 мс	20 мс	30 мс
100 мс	328,77 ± 42,36*	580,12 ± 71,78	710,32 ± 43,19
120 мс	269,12 ± 49,23	455,22 ± 37,18	636,85 ± 80,79
130 мс	215,33 ± 52,28	320,20 ± 71,93	580,53 ± 82,20
7Вт	10 мс	20 мс	30 мс
100 мс	370,81 ± 81,45	620,65 ± 83,59	785,33 ± 102,53
120 мс	310,22 ± 70,18	533,02 ± 56,90	692,51 ± 75,94
130 мс	234,70 ± 82,20	484,10 ± 59,40	630,30 ± 50,28
8 Вт	10 мс	20 мс	30 мс
100 мс	490,41 ± 72,12	830,12 ± 87,98	905,56 ± 75,35
120 мс	399,88 ± 61,99	670,95 ± 61,40	770,12 ± 49,81
130 мс	321,22 ± 50,60	520,21 ± 45,94	711,11 ± 63,15

*Измерения в мкм.

ные цветом, являются допустимыми для применения в фонохирургии, так как при данных режимах максимальная зона деструкции не превышает 600 н. Таким образом, можно предполагать максимальное сохранение гистологической структуры голосовой складки и быстрое восста-

новление фонаторной функции гортани после лазерного воздействия (табл. 3, 4).

Для практической деятельности самыми удобными в плане комбинированного резекционного и коагуляционного эффекта являются параметры с наименьшей паузой между импульсами, т. е.

Оптимальные параметры воздействия лазера 445 нм для использования в фонохирургии

Таблица 5

Table 5

Optimal parameters of 445 nm laser exposure for use in phonosurgery

	6 Вт	7 Вт	8 Вт	9 Вт	10 Вт
100 мс (He)	10мс	10 мс	10 мс	–	–
120 мс (He)	10 мс 20 мс	10 мс 20 мс	10 мс	–	–
130 мс (He)	10 мс 20 мс	10 мс 20 мс	10 мс 20 мс	–	–
150 мс	–	–	10 мс 20 мс	10 мс	10 мс

8 Вт импульс 10–20 мс, 9–10 Вт импульс 10 мс при паузе 150 мс.

Вторым этапом определяли оптимальные параметры в импульсном режиме при подключении установки Flow Control, т. е. при работе в атмосфере инертного газа.

Таким образом, оптимальными параметрами воздействия полупроводникового лазера 445 нм в контактном режиме являются: мощность 8–10 Вт при длительности импульса 10–20 мс и паузе 150 мс при стандартных характеристиках; мощность 6–8 Вт при длительности импульса 10–20 мс и паузе 100–130 мс при работе в атмосфере инертного газа.

Итоговые результаты эксперимента по изучению лазерных характеристик в импульсном режиме занесены в табл. 5.

Заключение

В ходе эксперимента синий лазер показал высокий резекционный и коагуляционный эффекты. По результатам проведенного исследования были получены параметры лазерного воздействия, применение которых оптимально для хирургического лечения доброкачественных и опухолеподобных заболеваний. При данных параметрах происходит качественное воздействие на биологический препарат гортани с возникновением минимальной зоны поражения окружающих тканей, что в корреляции с клинической ситуацией предотвращает чрезмерное разрушение гистологической структуры и нарушение вибрационной функции голосовой складки.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

- Плужников М. С., Лопотко А. И., Рябова М. А. Лазерная медицина в оториноларингологии. Минск: ПП-АНАЛМ, БДП, 2000. 224 с.
1. Pluzhnikov M. S., Lopotko A. I., Ryabova M. A. Laser medicine in otorhinology. Minsk: PP-ANALM, BDP: 2000. 224 p. (In Russ.)
- Блоцкий А. А., Шмелёва Н. В. Применение лазерной и эндоскопической хирургии в оториноларингологии (обзор литературы). *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. 2009;34:42–45.
Blotsky A. A., Shmeleva N. V. Application of laser and endoscopic surgery in otorhinology (review). *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration*. 2009;34:42-45. (In Russ.)
- 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>
- Philipp C. M., Berlien H. P. Lasers in otorhinology. Physical and medical principles. *Laryngorhinootologie*. 2003;82 Suppl 1: S1-20. <https://doi.org/10.1055/s-2003-38930>
- Коркмазов М. Ю., Ангелович М. С., Ленгина М. А., Ястремский А. П. Пятнадцатилетний опыт пластики ликворных свищей с применением высокоинтенсивного лазерного излучения. *Медицинский Совет*. 2021;18:192–201. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2021-18-192-201>
Korkmazov M. Yu., Angelovich M. S., Lengina M. A., Yastremsky A. P. Fifteen years of experience in plastic liquor fistulas using high-intensity laser radiation. *Meditinskiy sovet = Medical Council*. 2021;(18):192-201. (In Russ.) [doi:10.21518/2079-701X-2021-18-192-201](https://doi.org/10.21518/2079-701X-2021-18-192-201)
- 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>
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>
- Карпищенко С. А., Улюпов М. Ю., Иванцов А. О., Малкова М. Е. 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 S. A., Ulupov M. Yu., Ivantsov A. O., Malkova M. E. 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>
8. Рябова М. А., Улупов М. Ю., Шумилова Н. А., Тихомирова Е. К. Лазерные технологии в ринохирургии. *РМЖ*. 2020;5:38-42. https://www.rmj.ru/articles/otorinolaringologiya/Lazernye_tehnologii_v_rinohirurgii/
Ryabova M.A., Ulupov M.Yu., Shumilova N.A., Tikhomirova E.K. Laser technologies in rhinosurgery. *Russian Medical Journal*. 2020; 5:38-42 (In Russ.) https://www.rmj.ru/articles/otorinolaringologiya/Lazernye_tehnologii_v_rinohirurgii/
9. Дайхес Н. А., Виноградов В. В., Решульский С. С. Применение лазерных технологий в современной хирургии ЛОР-органов. *Голова и шея. Российский журнал=Head and neck. Russian Journal*. 2020;8(4):38-41. <https://doi.org/10.25792/HN.2020.8.4.38-41>
Daikhes N. A., Vinogradov V. V., Reshulsky S. S. The laser technologies in the modern ENT surgery. *Head and neck. Russian Journal*. 2020;8(4):38-41. (In Russ.) <https://doi.org/10.25792/HN.2020.8.4.38-41>
10. Karkos P. D., Koskinas I. S., Triaridis S., Constantinidis J. Lasers in Otolaryngology: A Laser Odyssey from Carbon Dioxide to True Blue. *Ear Nose Throat J*. 2021;100(1_suppl):1S-3S. <https://doi.org/10.1177/0145561320951681>.
11. Benninger M. S. Laser surgery for nodules and other benign laryngeal lesions. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg*. 2009;17(6):440-444. <https://doi.org/10.1097/MOO.0b013e3283317cae>
12. Krammer KL, Husain I. Updated Medical and Surgical Treatment for Common Benign Laryngeal Lesions. *Otolaryngol Clin North Am*. 2019;52(4):745-757. <https://doi.org/10.1016/j.otc.2019.03.017>
13. Дайхес Н. А., Нажмудинов И. И., Гусейнов И. Г., Романенко С. Г. Доброкачественные и предраковые заболевания гортани: Клинические рекомендации. Национальная медицинская ассоциация оториноларингологов. Министерство здравоохранения Российской Федерации. М., 2014. 15 с.
Dajkhes N. A., Nazhmudinov I. I., Guseinov I. G., Romanenko S. G. Benign and precancerous diseases of the larynx: Clinical guidelines. National Medical Association of Otorhinolaryngologists Ministry of Health of the Russian Federation. Moscow, 2014. 15 p. (In Russ.)
14. Ремакл М., Эккель Х. Э. Хирургия гортани и трахеи. Пер. с англ. под ред. Ю. К. Янова. М.: Издательство Панфилова; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. 368 с.
Remacle M., Eckel H. E. Surgery of Larynx and Trachea. Ed. Yu. K. Yanov. Moscow: Izdatel'stvo Panfilova; BINOM. Laboratoriya znaniy, 2014. 368 p. (In Russ.)
15. Hron T. A., Kavanagh K. R., Murray N. Diagnosis and Treatment of Benign Pediatric Lesions. *Otolaryngol Clin North Am*. 2019;52(4):657-668. <https://doi.org/10.1016/j.otc.2019.03.010>
16. Hess M., Fleischer S. Photoangiolytic Lasers in Laryngology. *Laryngorhinootologie*. 2020. Sep; 99(9):607-612. <https://doi.org/10.1055/a-1071-0410>
17. Xie X., Young J., Kost K., McGregor M. KTP 532 nm Laser for Laryngeal Lesions. A Systematic Review. *Journal of Voice*. 2013; 27(2), 245-249. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2012.11.006>
18. Ma J., Fang R., Zhen R., Mao W., Wu X., He P., Wei C. A 532-nm KTP Laser for Vocal Fold Polyps: Efficacy and Relative Factors. *Ear Nose Throat J*. 2021;100(1_suppl):87S-93S. <https://doi.org/10.1177/0145561320946153>
19. Strieth S., Hagemann J., Hess M. Angiolytic laser applications for the larynx: Phonosurgical concepts for transoral laser microsurgery. *HNO*. 2020;68(1):59-68. <https://doi.org/10.1007/s00106-019-00801-3>
20. Hess M., Fleischer S., Ernstberger M. New 445 nm blue laser for laryngeal surgery combines photoangiolytic and cutting properties. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2018;275:1557-1567. <https://doi.org/10.1007/s00405-018-4974-8>
21. Диаб Х. М., Дайхес Н. А., Умаров П. У., Пашчинина О. А., Загорская Д. А. Использование фотоангиолитического лазера при хирургическом лечении параганглиомы височной кости. *Голова и шея. Российский журнал = Head and neck. Russian Journal*. 2019;7(4):27-32 <https://doi.org/10.25792/HN.2019.7.4.27-32>
Diab H. M., Daikhes N. A., Umarov P. U., Pashchinina O. A., Zagorskaya D. A. The use of photoangiolytic laser in the surgical treatment of temporal bone paraganglioma. *Golova i sheya. Rossijskii zhurnal = Head and neck. Russian Journal*. 2019;7(4):27-32 (in Russ.) <https://doi.org/10.25792/HN.2019.7.4.27-32>
22. Кривопалов А. А., Шамкина П. А., Степанова Ю. Е., Корень Е. Е., Готовяхина Т. В. Хирургия доброкачественных и опухолеподобных образований гортани с использованием полупроводникового лазера с длиной волны 445 нм. *Российская оториноларингология*. 2021;20(6):102-108. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-6-102-108>
Krivopalov A. A., Shamkina P. A., Stepanova Yu. E., Koren' E. E., Gotovyakhina T. V. Surgery of benign and tumor-like laryngeal formations using 445 nm semiconductor laser. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2021;20(6):102-108. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-6-102-108>
23. Palaia G., Pergolini D., D'Alessandro L., Carletti R., Del Vecchio A., Tenore G., Di Gioia C. R. T., Romeo U. Histological Effects of an Innovative 445 Nm Blue Laser During Oral Soft Tissue Biopsy. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(8):2651. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082651>
24. Miller B. K., Abdelhamid A., Karagama Y. Applications of Office-Based 445 nm Blue Laser Transnasal Flexible Laser Surgery: A Case Series and Review of Practice. *Ear, nose, & throat journal*. 2020;24:145561320960544. <https://doi.org/10.1177/0145561320960544>
25. Hirano M. Clinical Examination of Voice. Wien: Springer-Verlag, 1981. 100 p.
26. Paulsen F., Tillmann B. Structure, Function and Insertion of the Human Vocal Folds. *Adv Otorhinolaryngol*. 2020;85:1-9. <https://doi.org/10.1159/000456678>

Информация об авторах

✉ **Кривопалов Александр Александрович** – доктор медицинских наук, заведующий научно-исследовательского отдела патологии верхних дыхательных путей, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Россия, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); e-mail: krivopalov@list.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6047-4924>

Шамкина Полина Александровна – аспирант, младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела патологии верхних дыхательных путей, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Россия, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); e-mail: p.s.ent@bk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4595-365X>

Ильина Виктория Анатольевна – доктор медицинских наук, заведующая патологоанатомическим отделением, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И. И. Джanelидзе (192242, Россия, Санкт-Петербург, Будапештская ул., 3 лит. А); e-mail: profkomniisp@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7336-8146>

Козырева Екатерина Евгеньевна – кандидат медицинских наук, научный сотрудник научно-исследовательского отдела патологии верхних дыхательных путей, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Россия, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); e-mail: posobilo@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7055-8937>

Панченко Павел Игоревич – младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела патологии верхних дыхательных путей, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Россия, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); e-mail: pipan.ent@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3380-7228>

Information about authors

✉ **Aleksandr A. Krivopalov** – MD, Head of the Research Department of Upper Respiratory Tract Pathology, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., Saint Petersburg, Russia, 190013); e-mail: krivopalov@list.ru

Polina A. Shamkina – Postgraduate Student, Junior Researcher of the Department of Upper Respiratory Tract Pathology, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., Saint Petersburg, Russia, 190013); e-mail: p.s.ent@bk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4595-365X>

Viktoriya A. Il'ina – MD, Head of the Pathological Department, Dzhanelidze Saint Petersburg Research Institute of Ambulance (3, Budapestskaya str., Saint Petersburg, Russia, 102242); e-mail: profkomniisp@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7336-8146>

Ekaterina E. Kozyreva – MD Candidate, Researcher of the Department of Upper Respiratory Tract Pathology, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., Saint Petersburg, Russia, 190013); e-mail: posobilo@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7055-8937>

Pavel I. Panchenko – Junior Researcher of the Department of Upper Respiratory Tract Pathology, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., Saint Petersburg, Russia, 190013); e-mail: pipan.ent@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4595-365X>

Статья поступила 25.06.2022

Принята в печать 27.08.2022