

# Микрохирургия хронических заболеваний гортани с использованием оптоволоконных лазеров (обзор литературы)

А.А. Кривопапов<sup>1,2</sup>, П.А. Шамкина<sup>2</sup>, А.И. Глуценко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup>ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

## Аннотация

**Обоснование.** Лечение хронических заболеваний гортани является проблемой, которая не теряет своей актуальности. На долю хронических продуктивных образований гортани приходится до 55–70% патологии в структуре пролиферативных заболеваний верхних дыхательных путей. Возросшая нагрузка на голосовой аппарат, нервно-эмоциональное напряжение, несоблюдение гигиены голоса (курение, алкоголь) воспалительные заболевания полости носа и глотки, аллергиялизация организма, а также нарушение работы желудочно-кишечного тракта – все это обуславливает отсутствие тенденции к снижению частоты заболеваемости голосового аппарата. Жалобы на дисфонию, изменение тембра голоса и вокальную усталость при обращении к оториноларингологу составляют от 7–12%. Несвоевременное лечение хронических заболеваний гортани может приводить к затруднению прохождения воздуха через верхние дыхательные пути со снижением толерантности к умеренной физической нагрузке и самообслуживанию, а также профессиональной непригодности у лиц голосоречевых профессий.

**Цель.** Осветить актуальные способы лечения хронических заболеваний гортани. Современное консервативное и хирургическое лечение хронических заболеваний гортани направлено на восстановление качества голосовой и дыхательной функции. В последние 50 лет фонохирургия с использованием лазера обрела высокую популярность благодаря многим позитивным эффектам взаимодействия электромагнитной энергии с биологической тканью и малым процентам интраоперационных и послеоперационных осложнений.

**Материалы и методы.** Источниками данных обзора литературы послужили электронные библиотеки и профессиональные печатные издания. По информации, полученной из отечественных и зарубежных источников, хирургия гортани с использованием лазера является бескровной, высокоточной, малоинвазивной и максимально эффективной. Исторически наиболее длительно в гортанной хирургии используется CO<sub>2</sub>-лазер. В последнее время современная медицинская инженерная наука представила для клинического применения хирургические системы, обладающие преимущественно новыми техническими характеристиками. В таких аппаратах энергия лазерного излучения передается через гибкое оптическое волокно вместо системы зеркал, как у CO<sub>2</sub>-лазера, что сделало новые хирургические высокоэнергетические системы более доступными для лечебных учреждений. В настоящее время для лечения хронических заболеваний гортани наиболее часто применяют следующие оптоволоконные лазерные системы: калий-титанил-фосфат, диодный лазер и «синий» лазер с длиной волны 445 нм.

**Результаты.** Обзор литературы и анализ результатов хирургического лечения пациентов с хроническими заболеваниями гортани с применением оптоволоконных лазеров показали высокую безопасность и эффективность современных способов лечения, позволяющие в короткие сроки достигнуть восстановления голосовой и дыхательной функции.

**Заключение.** Появление лазерных аппаратов, в том числе отечественного производства, с новыми длинами волн позволяет работать в контактном режиме в среде инертного газа, что открывает новые возможности для фонохирургии.

**Ключевые слова:** доброкачественное новообразование гортани, опухолеподобные образования, хронические заболевания гортани, лазер, фонохирургия, калий-титанил-фосфатный лазер, лазер 445 нм, диодный лазер

**Для цитирования:** Кривопапов А.А., Шамкина П.А., Глуценко А.И. Микрохирургия хронических заболеваний гортани с использованием оптоволоконных лазеров (обзор литературы). Consilium Medicum. 2023;25(9):642–647. DOI: 10.26442/20751753.2023.9.202418

© ООО «КОНСИЛИУМ МЕДИКУМ», 2023 г.

## Введение

Благодаря многим позитивным эффектам взаимодействия лазерного излучения с биологической тканью лазеры нашли применение как в терапевтических специальностях, так и в хирургии [1]. После апробации высокоэнергетических лазеров на экспериментальных моделях, а потом и на практике выявлены преимущества лазерного излучения перед традиционной хирургией, которые можно условно разделить на две группы: интраоперационные и послеоперационные [2, 3]. 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 и возможность амбулаторного выполнения манипуляций [4–6]. Во 2-ю группу выделены: быстрое наступление ожидаемого клинического эффекта, уменьшение количества ранних и отдаленных осложнений, ускорение периода регенерации [7–9]. Благодаря всем перечисленным преимуществам лазеры приобрели большую популярность в ЛОР-практике, и в частности – ларингологии, и на сегодняшний день в мировой литературе накоплен обширный опыт применения высокоинтенсивного лазерного излучения для лечения патологии гортани [10–12].

## Информация об авторах / Information about the authors

<sup>✉</sup>**Кривопапов Александр Александрович** – д-р мед. наук, доц. каф. оториноларингологии ФГБОУ ВО «СЗГМУ им. И.И. Мечникова», рук. научно-исследовательского отд. патологии верхних дыхательных путей ФГБУ СПб НИИ ЛОР. E-mail: Krivopalov@list.ru; ORCID: 0000-0002-6047-4924

**Шамкина Полина Александровна** – канд. мед. наук, науч. сотр. научно-исследовательского отд. патологии верхних дыхательных путей ФГБУ СПб НИИ ЛОР. E-mail: p.s.ent@bk.ru; ORCID: 0000-0003-4595-365X

**Глуценко Александра Ивановна** – аспирант научно-исследовательского отд. патологии верхних дыхательных путей ФГБУ СПб НИИ ЛОР. E-mail: nocturne4@mail.ru; ORCID: 0000-0001-5209-7869

<sup>✉</sup>**Aleksandr A. Krivopalov** – D. Sci. (Med.), Mechnikov North-Western State Medical University, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech. E-mail: Krivopalov@list.ru; ORCID: 0000-0002-6047-4924

**Polina A. Shamkina** – Cand. Sci. (Med.), Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech. E-mail: p.s.ent@bk.ru; ORCID: 0000-0003-4595-365X

**Alexandra I. Glushchenko** – Graduate Student, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech. E-mail: nocturne4@mail.ru; ORCID: 0000-0001-5209-7869

# Microsurgery of chronic laryngeal diseases using fiber optic lasers. A review

Aleksandr A. Krivopalov<sup>1,2</sup>, Polina A. Shamkina<sup>2</sup>, Alexandra I. Glushchenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mechnikov North-Western State Medical University, Saint Petersburg, Russia;

<sup>2</sup>Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech, Saint Petersburg, Russia

## Abstract

**Background.** The treatment of chronic diseases of the larynx is an urgent issue. Chronic larynx masses account for up to 55–70% of the upper respiratory tract proliferative diseases. The incidence of vocal apparatus disorders is stable due to increased load on the vocal apparatus, neuro-emotional stress, non-compliance with voice hygiene (smoking, alcohol consumption), nasal and pharyngeal inflammatory diseases, sensibilization, and gastrointestinal disorders. Dysphonia, voice timbre changes, and vocal fatigue are presented in 7–12% of otorhinolaryngologist patients. Delayed treatment of chronic larynx diseases can lead to upper respiratory obstruction, reduced exercise and self-care tolerance, and disablement in people with voice and speech professions.

**Aim.** To address current treatment methods for chronic diseases of the larynx. Modern surgical and non-surgical treatments of chronic larynx diseases aim to restore voice quality and respiratory function. Over the past 50 years, laser-assisted phonosurgery has gained popularity due to the many benefits of biological tissue exposure to electromagnetic energy and low rates of intra- and postoperative complications.

**Materials and methods.** The literature review was performed using electronic medical libraries and professional printed papers. According to local and foreign data, laryngeal laser surgery is highly precise, minimally invasive, associated with no blood loss, and highly effective. Historically, CO<sub>2</sub> laser has been used for the longest time in laryngeal surgery. Modern medical technology has recently introduced surgical systems with novel technicalities for clinical use. In such devices, the laser energy is transmitted through a flexible optical fiber instead of a mirror system, as in the CO<sub>2</sub> laser, which has made new surgical high-energy systems more affordable for equipping medical institutions. Currently, the following fiber-optic laser systems are most often used to treat chronic diseases of the larynx: potassium-titanyl-phosphate, diode laser, and "blue" laser with a wavelength of 445 nm.

**Results.** The literature review and analysis of surgical treatment outcomes using fiber-optic laser devices in patients with chronic larynx diseases showed high safety and effectiveness of modern treatments, providing fast recovery of voice and respiratory function.

**Conclusion.** The development of laser devices, including domestic ones, with new wavelengths, makes it possible to work in contact mode in an inert gas environment, which opens up new opportunities for phonosurgery.

**Keywords:** benign neoplasm of the larynx, tumor-like masses, chronic diseases of the larynx, laser, phonosurgery, potassium-titanyl-phosphate laser, 445 nm laser, diode laser

**For citation:** Krivopalov AA, Shamkina PA, Glushchenko AI. Microsurgery of chronic laryngeal diseases using fiber optic lasers. A review. *Consilium Medicum.* 2023;25(9):642–647. DOI: 10.26442/20751753.2023.9.202418

## Материалы и методы

Впервые результаты хирургии гортани с использованием лазера описаны в 1968 г. [13]. В ходе операции бригада хирургов при удалении карциномы гортаноглottки использовала CO<sub>2</sub>-лазер вместо традиционных холодных инструментов и отметила выраженные резекционные качества лазерной установки. Однако разрез первых лазерных аппаратов, производимый за счет непрерывной подачи энергии инфракрасной части оптического спектра, отличался протяженной зоной коагуляционных изменений, что требовало избирательности применения высокоэнергетического хирургического инструмента для снижения рубцевания тканей в отдаленном периоде [14, 15]. За более чем 60-летнюю историю лазерной медицины аппараты значительно изменились и приобрели надежную систему охлаждения, процессор и микроманипулятор для работы в дистантном режиме [16]. Современные компьютеризированные CO<sub>2</sub>-лазеры запрограммированы на работу в различных режимах в зависимости от хирургической задачи. Наиболее деликатным при работе с тканями гортани является режим SuperPulse, позволяющий снизить первичное повреждение ткани за счет равномерной паузы между импульсами [17, 18].

Энергия углекислотного лазера подается бесконтактно, в результате перехода монохроматического светового потока через систему оптических зеркал. Длина волны углекислотного лазера относится к инфракрасной части оптического спектра и является невидимой для глаза человека. Визуализация направления потока фотонов осуществляется посредством графической контрастной подсветки луча, а управление лучом – за счет смещения ручки микроманипулятора. Благодаря полностью автоматизированным параметрам луча и хорошей управляемости микроманипулятора обеспечивается точность движений в операционном поле (гортани). Помимо дистантного способа доставки излучения в операционное поле с использованием зеркальных систем, как традиционно работает CO<sub>2</sub>-лазер, также

существует доставка лазерной энергии по оптическим волоконным световодам [14, 15].

На рубеже XX и XXI столетий впервые на медицинском рынке представлены новые модели лазерных систем, реализующие второй способ доставки энергии хирургического лазера в операционное поле. Полупроводниковые лазеры обладают различными длинами волн в диапазоне видимого и невидимого спектра и, соответственно, разными биологическими эффектами на живую ткань, ассоциированными с биологическими свойствами генерируемой длины волны [19, 20].

Техника хирургического лечения с использованием волоконных лазеров имеет больше преимуществ за счет воздействия на биологическую ткань не только дистантно, как работает углекислотный лазер, но и в контактном режиме [21]. Применение оптоволокна в качестве высокоэнергетического скальпеля непосредственно в месте контакта с биотканью реализует не только диссекцию, коагуляцию, резекцию, но и абляцию [22]. Современные волоконные аппараты предусматривают использование адаптированного с кварцевым световодом удобного хирургического инструмента с рабочим полым каналом, через который возможна подача воздуха непосредственно в операционное поле. Активный приток воздуха вытесняет дым, образующийся при абляции, и микрохирургическое вмешательство осуществляется без необходимости подключения аспиратора в торец ларингоскопа [23]. Также важным преимуществом считается то, что подаваемый под небольшим давлением воздух охлаждает ткани гортани во время вмешательства с использованием лазера, что дополнительно уменьшает термическое повреждение здоровых тканей в процессе операции. Некоторые модели могут реализовать техническую возможность подачи в операционное поле через канал рабочей части инструмента инертный газ – гелий [24–26]. Гелий заполняет полость гортани и вытесняет из него кислород, что является одним из важных преимуществ волоконной техники для фоно-

хирургии. Это создает оптимальные условия для микрохирургии, минимизируя повреждение окружающих тканей. В литературном обзоре дана характеристика наиболее часто используемых волоконных лазеров в хирургии гортани [27, 28].

## Результаты

### **Калий-титанил-фосфатный лазер с длиной волны 532 нм**

На сегодняшний день из всех видов неабляционных (фоноангиолитических) лазеров в ларингологии достаточно часто используется калий-титанил-фосфатный (КТР) лазер. Принцип работы этого лазера заключается в прохождении света быстроимпульсного Nd:YAG-лазера сквозь ризоморфный кристалл КТР (калий-титанил-фосфат), благодаря чему осуществляется увеличение частоты вдвое, длина волны 1064 нм, находящаяся в инфракрасном диапазоне, снижается в 2 раза – до 532 нм. Световая волна КТР-лазеров принадлежит зеленой области видимого света, а значит, может хорошо поглощаться гемоглобином, что дает возможность использования для коагуляции [29, 30].

Поверхностные слои голосовых складок лишены гемоглобина, вследствие чего почти вся энергия КТР-луча проходит сквозь поверхностные слои тканей для воздействия на более глубоко расположенные кровеносные сосуды. Благодаря этому эпителий и собственная пластинка слизистой оболочки, покрывающие кровеносные сосуды, могут остаться неповрежденными, что способствует сохранению голосовой функции. Хорошие гемостатические способности, проникновение в ткани глубиной до 2 мм и возможность доставки данного вида излучения сквозь гибкое волокно световода обеспечивают удобство и эффективность использования при работе с сосудистыми новообразованиями [31].

В течение последних 10 лет проведено большое число исследований, которые доказывают надежность, целесообразность и эффективность способов оперативного вмешательства с использованием КТР-лазера для пациентов фонохирургического профиля [32, 33].

Работа 2007 г. Д.М. Мустафаева посвящена исследованию безопасности и эффективности совместного воздействия Ho:YAG и КТР-лазеров в фонохирургии. Согласно результатам отмечен более высокий гемостатический эффект по сравнению с традиционной микрохирургией, а также тот факт, что применение КТР-лазера привело к более быстрому восстановлению эндоскопической картины гортани в послеоперационном периоде по сравнению с традиционной микрохирургией [34].

Исследование 2012 г. М. Sheu и соавт. оценивало результаты лечения 1002 пациентов с хроническими заболеваниями гортани с использованием КТР-лазера. Авторы подтвердили высокий коагуляционный эффект лазера и сделали предположение о том, что применение ангиолитического лазера максимально сохраняет слизистую волну голосовой складки, а также способствует ее качественному смыканию при фонации в послеоперационном периоде. Согласно проведенному метаанализу 2021 г. использование КТР-лазера в условиях прямой опорной микроларингоскопии или амбулаторной фиброларингоскопии ассоциировано с низким уровнем осложнений и хорошим темпом восстановления вибраторной функции голосовых складок [35–38].

В настоящее время активно распространено выполнение амбулаторных вмешательств с применением волоконных лазеров, среди которых самым популярным является КТР. Оперативные вмешательства в формате Office-Based Surgery распространены как альтернатива традиционным хирургическим операциям под наркозом. Существует много статей, описывающих оперативное лечение с использованием лазера, проводимое под местной анестезией, как

более безопасное и в некоторых случаях единственно выполнимое вмешательство для лиц с противопоказанием к эндотрахеальному наркозу [39].

### **Диодный лазер с длиной волны 980 нм**

Другой диодный лазер с длиной волны 980 нм является доступным и удобным хирургическим инструментом с хорошими гемостатическими свойствами [40–42].

В ряде экспериментов на лабораторной модели коллектив оториноларингологов из ФГБОУ ВО «Первый СПб ГМУ им. акад. И.П. Павлова» установил, что импульсный режим лазерного излучения с длиной волны 980 нм при мощности 28 Вт демонстрирует меньшее коагуляционное повреждение окружающих тканей в сравнении с контактным постоянным режимом мощностью 7 Вт при относительно равных абляционных свойствах. При сравнении лазерного воздействия в дистантном режиме выявлено, что при постоянном режиме излучения мощностью 7 Вт диаметр и глубина коагулята определялись достоверно больше ( $p < 0,05$ ), чем в импульсном режиме при мощности 28 Вт [43, 44].

В 2014 г. А.С. Лапченко представил сообщение об использовании лазерных технологий для лечения заболеваний гортани. По результатам клинического применения диодного лазера получен вывод, что лазер эффективен при удалении как доброкачественных, так и опухолевидных образований. Этот метод выгодно отличался сухим операционным полем, оказался менее травматичным для окружающих тканей и снижал риски рецидивирования новообразований [45].

В сборнике научных трудов С.А. Карпищенко и М.А. Рябова (2016 г.) представили результаты практического применения диодных инфракрасных лазеров в хирургическом лечении болезней уха, горла и носа [46]. Авторы описывают опыт использования отечественных полупроводниковых лазерных систем в фонохирургии. Коллектив оториноларингологов проводил эндоларингеальное вмешательство с помощью диодного лазера у 116 пациентов с новообразованиями гортани. Операция проводилась под общей анестезией с использованием высокочастотной искусственной вентиляции легких через тонкий ларинготрахеальный или транстрахеальный катетер. Новообразования удалялись диодным лазером длиной волны 980 нм под микроскопом. Согласно результатам, у 99 (85,3%) пациентов достигнута ремиссия. Исследование подтвердило, что диодный лазер может являться эффективным методом лечения новообразований гортани без необходимости проведения превентивной трахеотомии [47, 48].

### **Хирургический лазер с длиной волны 445 нм («синий» лазер)**

В 2018 г. на территории Российской Федерации зарегистрирован новый хирургический лазер с длиной волны 445 нм, относящийся к синей части оптического диапазона. Этот лазер обладает высоким коэффициентом поглощения света синего спектра хромофорами организма, что обеспечивает наилучшее проникновение в биологические ткани с минимальным термическим рассеянием. Лазер сочетает в себе фотоангиолитические и абляционные свойства, что позволяет достичь хороших результатов при резке и коагуляции [49]. Лазерная установка оснащена системой интраоперационной подачи гелия, что исключает горение и сводит эффект карбонизации к минимуму, это дополнительно уменьшает термическое повреждение окружающих тканей. «Синий» лазер показал хорошие результаты в лечении различных заболеваний гортани.

М. Hess и соавт. (2018 г.) проводили серию экспериментов на различных биологических моделях, согласно которым подтвердили выраженный коагуляционный и резекционный эффект «синего» лазера. Авторы констатировали кли-

ническую эффективность лазера с длиной волны 445 нм в ряде случаев с доброкачественными образованиями гортани, рецидивирующим респираторным папилломатозом, отеком Рейнке, полипами, гранулемами как в амбулаторных условиях, так и в условиях операционной. В ходе клинических исследований побочных реакций и осложнений не наблюдалось [50, 51].

В. Müller и соавт. (2021 г.) представили серию наблюдений трансназальной гибкой лазерной хирургии с применением «синего» лазера 445 нм в хирургии гортани. Получены хорошие результаты в случаях лечения респираторного папилломатоза и опухолеподобных заболеваний гортани, доказаны безопасность и эффективность данного лазера [52].

В ФГБУ СПб НИИ ЛОР с 2021 по 2022 г. проводили клиническое исследование, в которое включены 80 взрослых пациентов в возрасте от 22 до 73 лет, средний возраст –  $46,44 \pm 12,13$  года, страдающих хроническими заболеваниями гортани. Пациенты разделены на две группы: 1-я группа состояла из 50 пациентов, получавших лечение полупроводниковым лазером с длиной волны 445 нм, а 2-я группа – из 30 пациентов, получавших лечение полупроводниковым лазером с длиной волны 980 нм. Во время операции оценивали продолжительность хирургического вмешательства, частоту интраоперационных кровотечений и необходимость лазерного гемостаза. Дополнительно всем пациентам до хирургического лечения и в послеоперационном периоде выполняли видеостробиоскопию гортани, фиброларингоскопию и акустический анализ голоса. Пациенты также заполняли анкету индекса нарушения голоса VHI-30. В результате отмечалась статистически значимая разница в продолжительности хирургического вмешательства между 1-й ( $14,9 \pm 5,5$  мин) и 2-й группами ( $17,9 \pm 6,3$  мин). Группа пациентов после лечения «синим» лазером показала более быструю нормализацию эндоскопической картины при фиброскопическом исследовании гортани по сравнению с лазерной группой 980 нм на 10-е сутки. Кроме того, в 1-й группе на 14-е сутки при стробиоскопии гортани отмечены достоверно положительные изменения. Через 2 нед после операции индекс VHI-30 оказался значительно ниже в группе лазера 445 нм по сравнению с группой лазера 980 нм. Среди показателей акустического анализа голоса время максимальной фонации, Jitter и Shimmer достоверно различались между группами, причем более положительные изменения наблюдались в 1-й группе. Однако высота тона и индекс HNR (Harmonics to noise ratio) не зависели от типа используемого хирургического лазера. В заключение отмечено, что применение лазера с длиной волны 445 нм приводило к меньшей продолжительности оперативного вмешательства по сравнению с лазером с длиной волны 980 нм. В группе, получавшей оперативное лечение с применением «синего» лазера, наблюдались более быстрый регресс воспалительного процесса в голосовых складках, восстановление вибрационной функции, нормализация акустических показателей голоса, улучшение голосовых нарушений и качества жизни [53].

На сегодняшний день в литературе представлено мало экспериментальных и клинических работ, посвященных применению «синего» лазера, что обуславливает проведение дополнительных исследований с данными длинами волн.

## Заключение

Появление лазерных технологий открыло новую эру в хирургическом лечении хронических заболеваний гортани. Лазерная хирургия с применением эндоскопической и микроскопической техники оказалась революционным методом и позволила хирургам предлагать пациентам менее инвазивные, более точные и эффективные варианты лечения. Таким образом, внедрение лазерного высокоэнергетического излучения в оториноларингологическую практику

определило новый подход в хирургии гортани, что позволило максимально безболезненно, бескровно и в короткие сроки достигнуть восстановления голосовой функции у пациентов с хроническими заболеваниями гортани.

В последние годы на рынке медицинского оборудования появились высокоэнергетические лазерные хирургические установки с длиной волны  $445 \pm 5$  нм, оснащенные устройством доставки инертного газа в операционное поле. Такое приспособление осуществляет процесс охлаждения биологической ткани при интраоперационном воздействии лазера. Доставка в операционное поле инертного газа обеспечивает вытеснение кислорода, исключая эффект горения и образования карбонизата. Появление лазерных аппаратов, в том числе и отечественного производства, с новыми длинами волн позволяет работать в контактном режиме в среде инертного газа, что открывает новые возможности для фонохирургии.

**Раскрытие интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Disclosure of interest.** The authors declare that they have no competing interests.

**Вклад авторов.** Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. Все авторы в равной степени участвовали в подготовке публикации: разработка концепции статьи, получение и анализ фактических данных, написание и редактирование текста статьи, проверка и утверждение текста статьи.

**Authors' contribution.** The authors declare the compliance of their authorship according to the international ICMJE criteria. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

**Источник финансирования.** Авторы декларируют отсутствие внешнего финансирования для проведения исследования и публикации статьи.

**Funding source.** The authors declare that there is no external funding for the exploration and analysis work.

## Литература/References

1. Крюков А.И., Царапкин Г.Ю., Арзамасов С.Г., и др. Лазеры в оториноларингологии. *Вестник оториноларингологии*. 2016;6:62-6 [Kryukov AI, Tsarapkin GYu, Arzamasov SG, Panasov SA. The application of lasers in otorhinolaryngology. *Vestnik otorinolaringologii*. 2016;6:62-6 (in Russian)]. DOI:10.17116/otorino20168162-66
2. Zediker MS, Zucker E. High-Power Diode Laser Technology. SPIE; Bellingham, WA, USA, 2022. High-power diode laser technology XX: A retrospective on 20 years of progress. Bellingham, 2022. DOI:10.1117/12.2615260
3. Kaifuchi Y, Yoshida K, Yamagata Y, et al. High-Power Diode Laser Technology. Enhanced power conversion efficiency in 900-nm range single emitter broad stripe laser diodes maintaining high power operability. SPIE; Bellingham, WA, USA, 2019. DOI:10.1117/12.2509184
4. Han L, Wang Z, Gordeev NY, et al. Progress of Edge-Emitting Diode Lasers Based on Coupled-Waveguide Concept. *Micromachines (Basel)*. 2023;14(6):1271. DOI:10.3390/mi14061271
5. Ракунова Е.Б. Современные возможности лечения пациентов с доброкачественными и опухолеподобными заболеваниями гортани. *Вестник оториноларингологии*. 2017;1:68-72. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=2934736266>. Ссылка активна на 01.09.2023 [Rakunova EB. Modern treatment options for patients with benign and tumor-like diseases of the larynx. *Bulletin of Otorhinolaryngology*. 2017;1:68-72. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=2934736266>. Accessed: 01.09.2023 (in Russian)].
6. Подкопаева Ю.Ю., Кривопалов А.А. Клинико-экспериментальное обоснование применения диодного лазера 980 нм в эндоларингеальной хирургии: материалы IV Петербургского форума оториноларингологов России. СПб., 2015; с. 393-4. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39548422>. Ссылка активна на 01.09.2023 [Podkopaeva YuYu, Krivopalov AA. Clinical and experimental rationale for the use of a 980 nm diode laser in endolaryngeal surgery: materials of the IV St. Petersburg Forum of Otorhinolaryngologists of Russia. Saint Petersburg, 2015; p. 393-4. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39548422>. Accessed: 01.09.2023 (in Russian)].

7. Arroyo HH, Neri L, Fussuma CY, et al. Diode-Laser for Laryngeal Surgery: a Systematic Review. *Int Arch Otorhinolaryngol*. 2016;20(2):172-9. DOI:10.1055/s-0036-1579741
8. Roy N, Merrill RM, Gray SD, Smith EM. Voice disorders in the general population: prevalence, risk factors, and occupational impact. *Laryngoscope*. 2005;115(11):1988-995. DOI:10.1097/01.mlg.0000179174.32345.41
9. Lee YS, Lee DH, Jeong GE, et al. Treatment efficacy of voice therapy for vocal fold polyps and factors predictive of its efficacy. *J Voice*. 2017;31(1):120.e9-13 DOI:10.1016/j.jvoice.2016.02.014
10. Crump P, Wenzel H, Erbert G, Tränkle G. High-Power Diode Laser Technology and Applications. SPIE; Bellingham, WA, USA, 2012. Progress in increasing the maximum achievable output power of broad area diode lasers. DOI:10.1117/12.905250
11. Sridharan S, Achlatis S, Ruiz R, et al. Patient-based outcomes of in-office KTP ablation of vocal fold polyps. *Laryngoscope*. 2014;124(5):1176-9. DOI:10.1002/lary.24442
12. Ma J, Fang R, Zhen R, et al. A 532-nm KTP Laser for Vocal Fold Polyps: Efficacy and Relative Factors. *Ear Nose Throat J*. 2021;100(1\_suppl):875-935. DOI:10.1177/0145561320946153
13. Долгов О.И., Рогова Д.О. Опыт эндоскопического хирургического лечения паралитических стенозов гортани. *Российская оториноларингология*. 2015;1(74):49-54 [Dolgov OI, Rogova DO. Experience of endoscopic treatment of paralytic laryngeal stenosis. *Rossiiskaia otorinolaringologija*. 2015;1(74):49-54 (in Russian)].
14. Gocal WA, Tong JY, Maxwell PJ, Sataloff RT. Systematic Review of Recurrence Rates of Benign Vocal Fold Lesions Following Surgery. *J Voice*. 2022;50892-1997(22)00321-6. DOI:10.1016/j.jvoice.2022.10.015
15. Lechien JR, Burns JA, Akst M. The use of 532-Nanometerpulsed potassium-titanyl-phosphate (KTP) laser in laryngology: a systematic review of current indications, safety, and voice outcomes. *Ear Nose Throat J*. 2020;145561319899183. DOI:10.1177/0145561319899183
16. 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;100(1suppl):15-35. DOI:10.1177/0145561320951681
17. Hormann K, Baker-Schreyer A, Keilmann A, Biermann G, et al. Laryngology and Otolaryngology. Functional results after CO2 laser surgery compared with conventional phonosurgery. *J Laryngol Otol*. 1999;113:140-4. DOI:10.1017/s0022215100143397
18. Dalal N, Urvis S, Ajay SS. Role of CO<sub>2</sub>-laser and Diode-laser in ENT. *GCSMC J Med Sci*. 2017;VI(1):27-31. Available at: <https://journals.indexcopernicus.com/search/article?articleId=1656914>. Accessed: 01.09.2023.
19. Hamdan AL, Hosri J, Feghali PAR, et al. Office-based Blue Laser Therapy of Vocal Fold Polyps: A Cohort of 18 Patients: Blue Laser Therapy of Vocal Fold Polyps. *Laryngoscope*. 2023. DOI:10.1002/lary.30602
20. Karkos PD, Koskinas I, Stavrakas M, Triaridis S. Diode Laser for Laryngeal Cancer: "980 nm" and Beyond the Classic CO<sub>2</sub>. *Ear Nose Throat J*. 2021;100(1suppl):195-235. DOI:10.1177/0145561320932043
21. Pitman MJ, Lebowitz-Cooper A, Jacob C, Tan M. Effect of the 532nm pulsed KTP laser in the treatment of Reinke's edema. *Laryngoscope*. 2012;122(12):2786-92. DOI:10.1002/lary.23576
22. Jeon GH, Seon SW, Lee SW. Comparative Results of Vocal Fold Injury According to the Fiber-Based Laser in a Rabbit Vocal Fold Model. *J Voice*. 2023;50892-1997(23)00029-2. DOI:10.1016/j.jvoice.2023.01.029
23. Chieffe D, Kalos S, Bunting G, Hartnick C. Blue light laser recontouring for pediatric benign fibrovascular vocal fold lesions. *Int Pediatr Otorhinolaryngol*. 2023;170:111601. DOI:10.1016/j.ijporl.2023.111601
24. Глущенко А.И., Кривопапов А.А., Панченков П.И., и др. Инновационная техника хирургического лечения заболеваний ВДП с использованием полупроводникового лазера 450 нм. Сб. трудов Межрегиональной научно-практической конференции оториноларингологов СКФО с международным участием посвященной 100-летию со дня рождения Расула Гамзатова 23 июня 2023 г. Под ред. Ю.А. Джамалудинова. Махачкала: ИПЦ ДГМУ, 2023 [Glushchenko AI, Krivopalov AA, Panchenkov PI, et al. Innovatsionnaya tekhnika khirurgicheskogo lecheniya zabolovaniivDP s ispol'zovaniem poluprovodnikovogo lazera 450 nm. Sb. trudov Mezhhregional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii otorinolaringologov SKFO s mezhdunarodnym uchastiiem posviashchennoy 100-letiiu so dnia rozhdeniia Rasula Gamzatova 23 iyunia 2023 g. Pod red. IuA Dzhamaludinova. Makhachkala: IPTS DGMU, 2023 (in Russian)].
25. Hess M, Fleischer S. Photoangiolytische Laser in der Laryngologie Photoangiolytic Lasers in Laryngology. *Laryngorhinootologie*. 2020;99(9):607-12. DOI:10.1055/a-1071-0410
26. Ulmschneider C, Baker J, Vize I, Jiang J. Phonosurgery: A review of current methodologies. *World J Otorhinolaryngol Head Neck Surg*. 2020;7(4):344-53. DOI:10.1016/j.wjorl.2020.09.001
27. Fornaini C, Merigo E, Rocca JP, et al. 450 nm Blue Laser and Oral Surgery: Preliminary ex vivo Study. *J Contemp Dent Pract*. 2016;17(10):795-800. DOI:10.5005/jp-journals-10024-1933
28. Braun A, Kettner M, Berthold M, et al. Efficiency of soft tissue incision with a novel 445-nm semiconductor laser. *Lasers Med Sci*. 2018;33(1):27-33. DOI:10.1007/s10103-017-2320-9
29. Yan Y, Olszewski A.E, Hoffman M.R, et al. Use of lasers in laryngeal surgery. *J Voice*. 2010;24(1):102-9. DOI:10.1016/j.jvoice.2008.09.006
30. Xiuwen J, Jianguo T. Endoscopic. Ho laser interstitial therapy for pharyngolaryngeal venous malformations in adults. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2015;272(4):937-940. DOI:10.1007/s00405-014-3463-y
31. Yang J, Xie Z, Seyler BC. Comparing KTP and CO<sub>2</sub> laser excision for recurrent respiratory papillomatosis: A systematic review. *Laryngoscope Investig Otolaryngol*. 2022;7(4):970-81. DOI:10.1002/lio2.871
32. Burns JA, Kobler JB, Heaton JT, et al. Predicting Clinical Efficacy of Photoangiolytic and Cutting Ablating Lasers using the Chick Chorioallantoic Membrane Model Implications for Endoscopic Voice Surgery journal. *Laryngoscope*. 2008. Available: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4939-1758-7\\_5](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4939-1758-7_5). Accessed: 01.09.2023.
33. Liu S, Shao J. Surgical outcome of different surgical modalities for adult recurrent respiratory papillomatosis. *Acta Otolaryngol*. 2023;143(2):196-200. DOI:10.1080/00016489.2023.2169346
34. Мустафаев Д.М., Ашуров З.М., Зенгер В.Г., и др. Возможности комбинированного использования Ho:YAG- и KTP-лазеров в хирургии доброкачественных образований гортани. *Лазерная медицина*. 2007;11(3):21-6. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9548740>. Ссылка активна на 01.09.2023 [Mustafaev DM, Ashurov ZM, Zenger VG, et al. Possibilities of combined use of Ho:YAG and KTP lasers in surgery of benign laryngeal formations. *Laser Medicine*. 2007;11(3):21-6. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9548740>. Accessed: 01.09.2023 (in Russian)].
35. Sheu M, Sridharan S, Kuhn MJ, et al. Multi-institutional experience with the in-office potassium titanyl phosphate laser for laryngeal lesions. *Voice*. 2012;26(6):806-10. DOI:10.1016/j.jvoice.2012.04.003
36. Mao W, Zhen R, Zhang F, et al. Office-based 532-nm KTP laser as a therapeutic modality for recurrent laryngeal papillomatosis: efficacy and relative factors. *Lasers Med Sci*. 2023;38(1):119. DOI:10.1007/s10103-023-03763-9
37. Zeitels SM, Burns JA. Office-based laryngeal laser surgery with local anesthesia. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg*. 2007;15:141-7. DOI:10.1097/MOO.0b013e3281574582
38. Ma J, Zhao X, Zhen R, et al. Comparative Efficacy of the KTP Laser and Cold Steel in Office-Based Surgery for Oropharyngeal Papilloma. *Ear Nose Throat J*. 2021;1455613211053413. DOI:10.1177/01455613211053413
39. Hung WC, Lo WC, Fang KM, et al. Longitudinal Voice Outcomes Following Serial Potassium Titanyl Phosphate Laser Procedures for Recurrent Respiratory Papillomatosis. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 2021;130(4):363-9. DOI:10.1177/0003489420950374
40. Zeitels SM, Akst LM, Burns JA, et al. Office-based 532-nm pulsed KTP laser treatment of glottal papillomatosis and dysplasia. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 2006;115(9):679-85. DOI:10.1177/000348940611500905
41. Xie X, Young J, Kost K, McGregor M. KTP 532 nm laser for laryngeal lesions: a systematic review. *J Voice*. 2013;27(2):245-9. DOI:10.1016/j.jvoice.2012.11.006
42. Рябова М.А., Улупов М.Ю., Портнов Г.В. Лазерная хирургия папилломатоза ЛОР-органов. *Актуальные проблемы лазерной медицины*. 2022:88-100. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48821724>. Ссылка активна на 01.09.2023 [Ryabova MA, Ulupov MYu, Portnov GV. Laser surgery for papillomatosis of the ENT organs. *Current Problems of Laser Medicine*. 2022:88-100. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48821724>. Accessed: 01.09.2023 (in Russian)].
43. Безотосный В.В., Бондарев В.Ю., Кривонос М.С., и др. Мощные лазерные диоды спектрального диапазона 808 нм и 980 нм. *Краткие сообщения по физике ФИАН*. 2010;5:25-7 [Bezotosnyy VV, Bondarev VYu, Krivonos MS, et al. Powerful laser diodes of the spectral range 808 nm and 980 nm. *Brief Communications on Physics FIAN*. 2010;5:25-7 (in Russian)]. DOI:10.1070/QE2009v039n03ABEH013979
44. Москвин С.В. Эффективность лазерной терапии. Серия «Эффективная лазерная терапия». Т. 2. М. – Тверь: Триада, 2014; с. 66 [Moskvin SV. Effektivnost' lazernoi terapii. Seriya "Effektivnaia lazernaya terapiia". T. 2. Moscow - Tver: Triada, 2014; p. 66 (in Russian)].
45. Улупов М.Ю., Шумилова Н.А., Портнов Г.В., Малкова М.Е. Экспериментальное изучение действия диодного лазера с длиной волны 980 нм. *Российская оториноларингология*. 2015;Suppl. 1:119-22. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=vbclmr>. Ссылка активна на 01.09.2023 [Ulupov MYu, Shumilova NA, Portnov GV, Malkova ME. Experimental study of the action of a diode laser with a wavelength of 980 nm. *Rossiiskaia Otorinolaringologija*. 2015;Suppl. 1:119-22. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=vbclmr>. Accessed: 01.09.2023 (in Russian)].
46. Карпищенко С.А., Улупов 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 [Karpishchenko SA, Ulupov MYu, Ivantsov AO, Malkova ME. Mode selection of laser radiation with a wavelength of 980 nm for dissection of upper airway scars. *Experimental Study. Rossiiskaia Otorinolaringologija*. 2020;19(2):38-41 (in Russian)]. DOI:10.18692/1810-4800-2020-2-38-41
47. Лапченко А.С. Опыт применения диодного лазера в хирургии гортани. *Лазерная медицина*. 2014;18(4):54-5. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23328377>. Ссылка активна на 01.09.2023 [Lapchenko AS. Experience of using diode laser in laryngeal surgery. *Laser Medicine*. 2014;18(4):54-5. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23328377>. Accessed: 01.09.2023 (in Russian)].
48. Карпищенко С.А., Рябова М.А., Улупов М.Ю., и др. Актуальные проблемы лазерной медицины: сборник научных трудов под редакцией Н.Н. Петрищева. СПб.: Международный фонд культуры и образования, 2016; с. 9-19. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=weejt>. Ссылка активна на 01.09.2023 [Karpishchenko SA, Ryabova MA, Ulupov MYu, et al. Current problems of laser medicine: collection of scientific papers edited by

- NN Petrishchev. Saint Petersburg: International Public Foundation for Culture and Education, 2016; p. 9-19. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=weejtl>. Accessed: 01.09.2023 (in Russian)].
49. Карпищенко С.А., Рябова М.А. Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова. Лазерная хирургия рака гортани: опыт кафедры оториноларингологии ПСПбГМУ им. И.П. Павлова. *Folia otorhinolaryngologiae et pathologiae respiratoriae*. 2017;23(1):8-18 [Karpishchenko SA, Ryabova MA. Pervyi Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi meditsinskii universitet im. akad. IP Pavlova. Lazernaia khirurgiia raka gortani: opyt kafedry otorinolaringologii PSPbGMU im IP Pavlova. *Folia otorhinolaryngologiae et pathologiae respiratoriae*. 2017;23(1):8-18 (in Russian)].
50. 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):60-6 [Kozyreva EE, Shamkina PA, Il'ina VA, Chufistova AV. Eksperimental'noye issledovaniye parametrov i metodik khirurgicheskogo vozdeystviya lazera s dlinoy volny izlucheniya 445 nm. *Rossiiskaia otorinolaringologiya*. 2021;20(6):60-6 (in Russian)]. DOI:10.18692/1810-4800-2021-6-60-63
51. 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):1557-67. DOI:10.1007/s00405-018-4974-89
52. Miller BJ, 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 J*. 2021;100(1suppl.):105S-12S. DOI:10.1177/0145561320960544
53. Кривопалов А.А., Шамкина П.А., Панченко П.И. Клинические аспекты лазерной хирургии хронических заболеваний гортани. *Голова и шея*. 2022;10(4):30-40 [Krivopalov AA, Shamkina PA, Panchenko PI. Clinical aspects of laser surgery for chronic laryngeal diseases. *Head and Neck*. 2022;10(4):30-40 (in Russian)]. DOI:10.25792/HN.2022.10.4.30-40

**Статья поступила в редакцию / The article received: 07.09.2023**

**Статья принята к печати / The article approved for publication: 25.09.2023**