Лазерные технологии в ринохирургии

Профессор М.А. Рябова, к.м.н. М.Ю. Улупов, к.м.н. Н.А. Шумилова, Е.К. Тихомирова

ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова Минздрава России, Санкт-Петербург

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: *разработать алгоритм выбора длины волны лазерного излучения, параметров и методики воздействия в ринохирургии.*

Материал и методы: *проанализировано 250 оперативных вмешательств, выполненных с применением полупроводниковых лазеров с длиной волны 0,81, 0,98 и 1,47 мкм: 52 случая — лазерная коагуляция нижних носовых раковин, 21 случай — рассечение синехий полости носа, 10 случаев — коагуляция сосудов полости носа, 175 — полипотомия носа. Параметры лазерного воздействия были подобраны на основании ранее проведенных экспериментальных исследований биологических эффектов лазерного излучения с длиной волны 0,81, 0,98 и 1,47 мкм на различных типах ткани.*

Результаты исследования: *при удалении полипов полости носа обнаружено преимущество контактного воздействия лазером с длиной волны 1,47 мкм над лазерами гемоглобинпоглощаемого спектра излучения за счет менее выраженных термических повреждений окружающих тканей и более значимых гемостатических свойств. Рассечение синехий полости носа лазером водопоглощаемого спектра излучения продемонстрировало более выраженные гемостатические свойства и приводило к формированию менее выраженных реактивных послеоперационных воспалительных явлений, в т. ч. у пациентов с дистрофическими изменениями слизистой оболочки полости носа. Тампонада полости носа не потребовалась ни в одном случае; сроки эпителизации слизистой оболочки составили от 2 до 4 нед. При коагуляции нижних носовых раковин лазерами с длиной волны 0,81, 0,98 и 1,47 мкм при соблюдении скоростного режима продвижения волокна и оптимальной мощности послеоперационный период у всех пациентов протекал гладко, интенсивное носовое кровотечение было отмечено у одного пациента, получавшего антикоагулянты, в результате неправильного подбора параметров лазерного воздействия. Коагуляция сосудов перегородки носа с помощью лазера оказалась эффективной при воздействии на сеть мелких капилляров. Способ остановки кровотечения из сосудов диаметром более 1 мм с помощью лазера не обладал необходимыми гемостатическими свойствами.*

Выводы: *скорость, мощность лазерного воздействия и суммарное количество переданной энергии являются решающими параметрами в ринохирургии. Режим воздействия лазерного излучения должен подбираться с учетом локализации облучаемой зоны в полости носа, наличия целевых хромофоров для спектра излучения лазерного аппарата.*

Ключевые слова: *лазерная хирургия, полипы, вазомоторный ринит, синехии.*

Для цитирования: *Рябова М.А., Улупов М.Ю., Шумилова Н.А., Тихомирова Е.К. Лазерные технологии в ринохирургии. РМЖ. 2020;5:38–42.*

ABSTRACT

Laser technologies in rhinosurgery

M.A. Ryabova, M.Yu. Ulupov, N.A. Shumilova, E.K. Tikhomirova

Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Saint Petersburg

Aim: *to develop an algorithm for selecting the laser radiation wavelength, parameters and methods of exposure in rhinosurgery.*

Patients and Methods: *250 surgeries performed using semiconductor lasers with wavelengths of 0.81 μm, 0.98 μm and 1.47 μm were analyzed: 52 cases — laser coagulation of inferior nasal turbinates, 21 cases — incision of nasal synechiae, 10 cases — coagulation of blood vessels in the nasal cavity, 175 cases — nasal polypectomy. The parameters of laser exposure were selected on the basis of previous experimental studies on biological effects of laser radiation with wavelengths of 0.81, 0.98 and 1.47 μm on various types of tissue.*

Results: *upon nasal polypectomy, the predominance of laser contact exposure with the wavelength of 1.47 μm over lasers radiation of the hemoglobin absorption spectrum was found due to less pronounced thermal damage to the surrounding tissues and more significant hemostatic properties. Incision of nasal synechiae with the laser radiation of the water absorption spectrum demonstrated more pronounced hemostatic properties and led to the formation of less significant reactive postoperative inflammatory events, including in patients with dystrophic changes in the nasal mucosa. Nasal tamponade was not required in any case; the re-epithelization period of the mucous membrane was from 2 to 4 weeks. Upon laser coagulation of inferior nasal turbinates with wavelengths of 0.81, 0.98 and 1.47 μm, the postoperative period was mild in all patients; intense nosebleed was observed in one patient receiving anticoagulants due to incorrect selection of laser exposure parameters. Laser coagulation of blood vessels in the nasal septum was effective when exposed on the capillary network. The method of stopping nosebleed from vessels of more than 1 mm in diameter using a laser did not have the necessary hemostatic properties.*

Conclusion: *velocity, power of laser exposure and the total amount of transmitted energy are crucial parameters in rhinosurgery. The mode of laser radiation exposure should be selected taking into account the localization of the irradiated zone in the nasal cavity, the presence of target chromophores for the spectrum of the laser radiation device.*

Keywords: *laser surgery, polyps, vasomotor rhinitis, synechiae.*

For citation: *Ryabova M.A., Ulupov M.Yu., Shumilova N.A., Tikhomirova E.K. Laser technologies in rhinosurgery. RMJ. 2020;5:38–42.*

Введение

Хирургические вмешательства в полости носа и околоносовых пазухах имеют ряд особенностей: богатая васкуляризация, легко ранимая тонкая слизистая оболочка, узкие анатомические пространства, высокий риск кровотечения и рубцовых послеоперационных осложнений. Потребность в менее травматичных методах лечения заболеваний носа привела к широкому внедрению методов лазерной хирургии. За время использования были выявлены преимущества лазеров по сравнению с «холодными» инструментами: малоинвазивность, точность воздействия, меньший риск кровотечения. Однако большое разнообразие лазерных аппаратов с различной длиной волны и недостаток сравнительных исследований биологических эффектов лазеров затрудняют выбор оптимального инструмента, в т. ч. в ринохирургии. В настоящее время нет единого подхода к подбору параметров лазерного воздействия: в большинстве доступных литературных источников выбор того или иного режима лазерного воздействия является эмпирическим. Отсутствует и единый подход к оценке характера повреждений, что делает хирургическое воздействие с помощью лазера менее прогнозируемым и безопасным.

Для подбора оптимальных параметров лазерного излучения необходимо учитывать множество факторов: длину волны, мощность и режим воздействия, оптические свойства биологической ткани.

Основными характеристиками лазерной аппаратуры являются длина волны излучения, которая определяет особенности ее биологических эффектов, и выходная мощность, высокие значения которой позволяют использовать лазер не только в постоянном, но и в импульсном режиме воздействия. Условно лазеры ближнего инфракрасного диапазона можно разделить на две группы — гемоглобинпоглощаемые, для которых преобладающим является поглощение в гемоглобине крови (длина волны 0,8–1,06 мкм), и водопоглощаемые, для которых максимальный пик абсорбции приходится на молекулы воды (с длиной волны 1,32 мкм и выше) [1]. Поэтому лазеры с разной длиной волны будут по-разному поглощаться одной и той же тканью, а разные пигменты в тканях будут по-разному поглощать излучение одного и того же лазера. Излучение гемоглобинпоглощаемых лазеров в большей степени поглощается ярко окрашенными тканями, в т. ч. слизистой оболочкой, а водопоглощаемых — тканями с большим содержанием воды, в т. ч. полипами полости носа. Однако превышение оптимальной мощности или экспозиции может привести к избыточному термическому повреждению слизистой оболочки полости носа, что увеличивает риск отсроченного кровотечения в процессе отхождения карбонизата, а также образование спаек в послеоперационном периоде, повреждение рецепторных полей полости носа в обонятельной области [2]. Осуществить выбор оптимальной длины волны и режимов для эффективного и безопасного воздействия на ткань позволяют результаты экспериментальных исследований биологических эффектов лазера и сравнительный опыт клинического применения.

Цель: разработать алгоритм выбора длины волны лазерного излучения, параметров и методики воздействия в ринохирургии.

Материал и методы

Проанализировано 250 оперативных вмешательств, выполненных в клинике оториноларингологии ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова на структурах полости носа с применением полупроводниковых лазеров с длиной волны 0,81, 0,98 и 1,47 мкм: 52 случая — лазерная коагуляция нижних носовых раковин, 21 случай — рассечение синехий полости носа, 10 случаев — коагуляция сосудов полости носа, 175 — полипотомия носа. Возраст пациентов составил от 18 до 80 лет.

Лазерная полипотомия была выполнена 175 больным с полипозным риносинуситом. Подготовка больных к оперативному вмешательству включала промывание верхнечелюстных пазух и системную антибактериальную терапию при гнойно-полипозной форме заболевания, системную терапию глюкокортикостероидами при наличии сопутствующей бронхиальной астмы (в 69 случаях) с целью профилактики развития патологического ринобронхиального рефлекса (накануне и в день операции — 8 мг дексаметазона, в первые и вторые сутки послеоперационного периода — 4 мг). Перед удалением полипов полости носа проводилась премедикация (промедол, атропина сульфат, диазепам).

Лазерную коагуляцию нижних носовых раковин, рассечение синехий полости носа, а также коагуляцию сосудов перегородки носа проводили без предоперационной подготовки, в большинстве случаев — в амбулаторных условиях.

Все оперативные вмешательства выполняли под контролем эндоскопа 0° в условиях местной аппликационной анестезии 10% раствором лидокаина, в ряде случаев (при протяженных синехиях полости носа) — в комбинации с инфильтрационной анестезией 2% раствором лидокаина. В контактном режиме лазерные воздействия выполнялись обожженным торцом оптоволокна, в дистантном — сколотым. Во всех случаях выбор параметров лазерного воздействия осуществлялся на основании проведенных нами ранее экспериментальных исследований биологических эффектов лазерного излучения с длиной волны 0,81, 0,98 и 1,47 мкм [3–5].

Результаты и обсуждение

Лазерная полипотомия выполнялась в контактном режиме путем погружения торца обожженного волокна в толщу полипа с последующей его вапоризацией. В случае стелющихся полипозных разрастаний проводились поверхностные лазерные линейные воздействия до достижения коагуляции и вапоризации измененной ткани. Образовавшийся коагулят удалялся с помощью пинцета или аспиратора. Однако применение указанных методик для удаления крупных полипов, особенно в случае распространенного полипоза, оказалось не оправдано, поскольку приводило к выраженному термическому повреждению окружающих тканей вследствие процессов рассеивания и отражения лазерного излучения и вызывало в послеоперационном периоде значительные реактивные воспалительные изменения с кровоизлияниями и отеком интактной слизистой оболочки соседних областей. Поэтому при наличии крупных полипов с обозримой ножкой воздействие производилось в ее толщу, после чего массив ткани бескровно удалялся с помощью пинцета или щипцов, далее вапоризации подвергались мелкие полипы и остатки полипозной ткани. Таким образом, методика лазерной полипотомии в каждом случае направлена на сокращение времени оперативного вмешательства, что минимизирует термические повреждения окружающих тканей.

Мощность лазерного воздействия в контактном непрерывном режиме составила 5–7 Вт для гемоглобинпоглощаемых лазеров с длиной волны 0,81 и 0,98 мкм и 2–5 Вт для водопоглощаемого лазера с длиной волны 1,47 мкм. По результатам выполненных нами экспериментальных исследований, использование указанных лазеров с меньшими показателями мощности значительно замедляет деструкцию [3, 6]. Превышение указанных показателей мощности гемоглобинпоглощаемых лазеров в незначительной степени увеличивает скорость деструкции, при этом приводит к образованию большого количества карбонизата, препятствующего дальнейшему распространению излучения в ткани, что вызывает избыточное ее горение.

В ходе выполнения полипотомии носа различий в контактном действии гемоглобинпоглощаемых лазеров с длиной волны 0,81 и 0,98 мкм выявлено не было. Лазерное воздействие приводило к умеренной карбонизации тканей, что в послеоперационном периоде определяло развитие умеренно выраженных реактивных воспалительных изменений и характеризовалось образованием фибринозных налетов на 1–3-и сут и небольшого количества корок, которые безболезненно удалялись с помощью пинцета. По результатам экспериментальных исследований, выполненных нами на биологических тканях с различными оптическими свойствами (полипы полости носа, печень крупного рогатого скота, мышечная ткань курицы), гемоглобинпоглощаемые лазеры с длиной волны 0,81 и 0,98 мкм не различаются по режущим свойствам, однако последний приводит к формированию несколько большей боковой зоны коагуляции, что отражается в более значимой гемостатической способности, однако клинически эта разница может иметь значение только при выполнении вмешательства в областях, требующих максимально щадящего подхода (например, на голосовых складках).

Экспериментально доказано, что у водопоглощаемого лазера с длиной волны 1,47 мкм выше вапоризационные способности в сравнении с лазерами с длиной волны 0,81 и 0,98 мкм, в особенности в отношении полипозной ткани [3]. Клинически в ходе выполнения полипотомии с помощью водопоглощаемого лазера отмечены его преимущества по сравнению с гемоглобинпоглощаемыми: более быстрая деструкция полипов, меньшая степень карбонизации тканей и выраженности реактивных воспалительных изменений, меньшее количество корок в послеоперационном периоде, что облегчало проведение туалета полости носа. Согласно результатам нашего исследования при использовании лазерного излучения для полипотомии носа у пациентов с повышенной кровоточивостью тканей на фоне проведения антитромботической терапии отмечался более выраженный гемостатический эффект водопоглощаемого лазера с длиной волны 1,47 мкм в сравнении с гемоглобинпоглощаемыми лазерами [7]. Нами было показано, что кровоточивостью у пациентов с терапией антикоагулянтами и дезагрегантами сопровождаются любые манипуляции, выполняемые «холодными» инструментами, в частности удаление коагулята тканей после лазерного воздействия. Таким образом, при исключении этапа с удалением коагулята лазерное излучение позволяло провести полипотомию бескровно, что не требовало выполнения тампонады полости носа у пациентов даже на фоне приема антикоагулянтов и дезагрегантов.

В ходе экспериментальных исследований были выявлены выраженные вапоризационные свойства дистантного действия лазерного излучения (длина волны 0,98 мкм, мощность 20–30 Вт, радиус пятна 2 мм) [3]. Однако при дистантной полипотомии были отмечены коагуляция интактной слизистой оболочки окружающих тканей за счет расхождения пучка лазерного излучения, быстрое загрязнение торца оптоволокна продуктами сгорания, что делало дальнейшее воздействие в дистантном режиме невозможным и требовало свежего скалывания волокна. Оперативное вмешательство с применением дистантного лазерного воздействия было более болезненным в условиях местной аппликационной анестезии, что свидетельствовало о более выраженном термическом повреждении окружающих тканей, а послеоперационный период характеризовался развитием выраженных реактивных воспалительных изменений окружающих тканей, образованием массивных фибринозных налетов и кровоизлияниями в интактную слизистую оболочку. Поэтому преимуществами при лазерной полипотомии обладают контактные методики воздействия, а предпочтительным с точки зрения длины волны является использование водопоглощаемого излучения (1,47 мкм), что имеет особое значение для пациентов с соматической патологией (например, при нарушениях свертывающей системы крови, артериальной гипертензии).

Всем больным после полипотомии полости носа с первых суток послеоперационного периода назначались интраназальные глюкокортикостероиды и солевые растворы для промывания полости носа. У пациентов с сопутствующей бронхиальной астмой при системной терапии глюкокортикостероидами и премедикации ни в одном случае не отмечено нарастания бронхообструкции во время операции и в послеоперационном периоде.

Таким образом, лазерное излучение в контактном режиме позволяет бескровно и безопасно удалить полипы полости носа, в т. ч. у больных с бронхиальной астмой и на фоне соматической патологии (в т. ч. при антитромботической терапии [7, 8]). За счет менее выраженных термических повреждений окружающих тканей и более значимых гемостатических свойств при лазерной полипотомии преимущества имеет водопоглощаемое лазерное излучение.

Лазерная коагуляция нижних носовых раковин выполнялась путем нанесения 3–4 линейных разрезов в контактном постоянном режиме вдоль гипертрофированной поверхности нижней носовой раковины. В отличие от поверхностной коагуляции интерстициальное воздействие в толщу носовой раковины имеет следующие недостатки: не всегда позволяет обеспечить надежный гемостаз, требует проведения инфильтрационной анестезии [4].

Лазерные воздействия на носовые раковины выполняли при мощности 5–7 Вт для гемоглобинпоглощаемых лазеров с длиной волны 0,81 и 0,98 мкм и при мощности 2–4 Вт для водопоглощаемого лазера с длиной волны 1,47 мкм. Снижение указанной мощности действия лазеров вызывало налипание ткани к торцу волокна с отрывом ее фрагментов при удалении волокна и недостаточной коагуляции крупных венозных сосудов, превышение — к формированию глубокой зоны абляции, карбонизации, термическому повреждению окружающих тканей, что увеличивало риск кровотечения.

Экспериментально нами было доказано, что данные параметры являются оптимальными при выполнении линейных разрезов со скоростью 2 мм в секунду [5]. Увеличение скорости лазерного воздействия формирует полосу коагуляции небольшой глубины, за счет которой не удается добиться стойкого рубцевания и долгосрочного уменьшения объема нижней носовой раковины. Более медленная скорость воздействия ведет к чрезмерному перегреву и обширному повреждению тканей лазируемой зоны в виде формирования глубокой зоны абляции, что увеличивает риск интра- и постоперационных кровотечений. При этом применение водопоглощаемого лазера для коагуляции нижних носовых раковин отличалось от гемоглобинпоглощаемого лазерного излучения более надежным гемостазом даже при несоблюдении скоростного режима с замедленным продвижением волокна по ткани и имело преимущества у пациентов, страдавших артериальной гипертензией и/или получавших антитромботическую терапию. Кровотечение в послеоперационнном периоде было отмечено только у 1 пациента, получавшего на момент операции терапию антикоагулянтами, и возникло через неделю после вмешательства на фоне гипертонического криза. Анализируя этот случай, потребовавший выполнения тампонады полости носа, следует отметить, что неправильный подбор параметров лазерного воздействия (выбор гемоглобинпоглощаемого лазерного излучения с длиной волны 0,98 мкм у больного с высоким риском кровотечения, замедление скорости движения волокна по ткани) привел к выраженным послеоперационным реактивным воспалительным явлениям в виде образования большого количества корок и налетов фибрина, что спровоцировало кровотечение при подъеме артериального давления.

В целом послеоперационный период после лазерной коагуляции нижних носовых раковин характеризовался умеренным отеком слизистой оболочки, образованием корок и налетов фибрина, менее выраженных в случае применения водопоглощаемого лазера. Полное заживление с сокращением объема носовых раковин в результате их рубцевания наступало через 2 нед. после операции.

Таким образом, для лазерной вазотомии может быть использовано как гемоглобинпоглощаемое, так и водопоглощаемое лазерное излучение, однако последнее обладает более значительным гемостатическим эффектом и вызывает меньше реактивных воспалительных изменений в послеоперационном периоде. Однако сравнительный анализ степени сокращения носовых раковин после воздействия водопоглощаемых и гемоглобинпоглощаемых лазеров не проводился, что говорит о необходимости дальнейшего изучения вопроса.

Для рассечения синехий полости носа использовали гемоглобинпоглощаемые и водопоглощаемый лазеры в оптимальных режимах для контактной резки тканей: 5–7 Вт для длины волны 0,81 и 0,98 мкм и 2–5 Вт для длины волны 1,47 мкм [8]. Однако рассечение протяженных синехий даже при низких мощностях (5 Вт для гемоглобинпоглощаемых лазеров) в результате длительного воздействия излучением в одной проекции сопровождалось дистантной коагуляцией интактной слизистой оболочки структур, лежащих за областью синехии. Поэтому при рассечении протяженных синехий целесообразно использовать лазерное излучение с минимальной для режущего режима мощностью. С целью профилактики перфорации перегородки полости носа воздействие лазером выполнялось на границе синехии и нижней носовой раковины, а образующийся в полости носа в послеоперационном периоде фибрин в зоне лазерного воздействия препятствовал рецидиву синехий. Рассечение синехий в узких анатомических пространствах (например, в области среднего носового хода) также требовало применения лазерного излучения с минимальной для режущего режима мощностью (5 Вт для лазеров с длиной волны 0,81 и 0,98 мкм, 2 Вт — для длины волны 1,47 мкм) с целью уменьшения боковой зоны повреждения окружающих тканей и профилактики рецидива заболевания. Как и при других оперативных вмешательствах в полости носа, водопоглощаемый лазер с длиной волны 1,47 мкм в сравнении с гемоглобинпоглощаемыми (0,81 и 0,98 мкм) продемонстрировал более выраженные гемостатические свойства, что имеет преимущества у больных с нарушениями свертывающей системы крови, артериальной гипертензией, а также приводил к развитию менее значимых реактивных воспалительных изменений за счет формирования узкой боковой зоны коагуляции, что делает целесообразным его применение при нарушении репаративных свойств слизистой оболочки полости носа, например при рассечении синехий у больных после лучевой и химиотерапии.

Тампонада полости носа после рассечения синехий не потребовалась ни в одном случае. Сроки эпителизации слизистой оболочки составили от 2 до 4 нед. в зависимости от регенерационных способностей ткани. Таким образом, подбор параметров лазерного излучения для рассечений синехий полости носа должен проводиться с учетом анатомической локализации синехий, их протяженности, а также с учетом функционального состояния слизистой оболочки полости носа и ее регенерационных возможностей.

Лазерная коагуляция сосудов перегородки носа производилась у пациентов с рецидивирующими носовыми кровотечениями в постоянном режиме путем околоконтактного воздействия на сосуды лазерным излучением с длиной волны 0,98 мкм при мощности 7 Вт вдоль эктазированных сосудов. При экспериментальных исследованиях на крысах было установлено, что достаточный гемостаз достигается при использовании лазерного излучения с длиной волны 0,97 мкм для околоконтактной коагуляции сосудов диаметром до 1,5 мм и оптимальной при этом является мощность воздействия 7 Вт [9]. Однако данное экспериментальное исследование было выполнено в опытах *in vivo* в открытой ране, поэтому полностью экстраполировать его результаты на коагуляцию эктазированных сосудов через интактную слизистую оболочку полости носа не представляется возможным. Даже при коагуляции более мелких сосудов перегородки носа диаметром до 1 мм не во всех случаях был достигнут положительный эффект. В ряде случаев лазерное излучение приводило к разрыву стенки сосуда, что требовало применения каутера для надежного гемостаза. Следует учитывать, что даже небольшое окрашивание кровью слизистой оболочки на практике приводит к стремительному поглощению лазерного излучения с гемоглобинпоглощаемой длиной волны и поверхностной коагуляции тканей, что сопровождается разрывом стенок подлежащих сосудов. В послеоперационном периоде в зоне лазерного воздействия определялось образование

нежных налетов фибрина, а термические повреждения и глубина коагулята были выражены в меньшей степени, чем в случае использования электрокаутера, что уменьшает риск формирования перфорации перегородки носа и позволяет проводить одномоментную коагуляцию сосудов с двух сторон. Таким образом, применение гемоглобинпоглощаемого лазерного излучения у больных с рецидивирующими носовыми кровотечениями может иметь преимущества при необходимости коагуляции сети мелких сосудов, однако требует обеспечения сухого поля, а при неэффективности — использования других методик гемостаза.

Выводы

Выбор длины лазерного излучения должен соответствовать оптическим свойствам облучаемой ткани: на хорошо кровоснабжаемых слизистых оболочках оптимально использовать лазеры с высокой абсорбцией в гемоглобине — 0,81 и 0,98 мкм. Для тканей с малым содержанием пигментных молекул (например, полипы полости носа) следует отдавать предпочтение водопоглощаемым лазерам, например с длиной волны 1,47 мкм.

Режим воздействия лазерного излучения подбирается с учетом локализации облучаемой зоны в полости носа: в узких анатомических пространствах рационально использование режимов, обеспечивающих минимальную зону боковой коагуляции, что ускоряет эпителизацию и снижает риск формирования синехий.

Скорость, мощность лазерного воздействия и суммарное количество переданной энергии являются решающими параметрами в ринохирургии. При увеличении мощности лазерного воздействия и уменьшении скорости продвижения волокна возможны избыточные термические повреждения ткани с формированием обширной зоны карбонизации, выбросом продуктов горения и увеличением абляционного кратера, что увеличивает риск кровотечения в послеоперационном периоде. Уменьшение мощности и увеличение скорости лазерного воздействия приводят к замедлению деструкции и вызывают налипание ткани к волокну, что увеличивает риск кровотечения при отсоединении волокна от ткани.

При необходимости длительного лазерного воздействия в одном направлении (например, при рассечении протяженных синехий полости носа), при воздействии в узких анатомических пространствах, нарушении регенерационных свойств слизистой оболочки полости носа следует использовать минимальную для режущего режима мощность лазера с целью уменьшения термического повреждения окружающих тканей.

Литература

1. Шахно Е.А. Физические основы применения лазеров в медицине. СПб.: НИУ ИТМО; 2012. [Schahno E.A. Physical fundamentals of the use of lasers in medicine. SPb.: NIU ITMO; 2012 (in Russ.)].
2. Рябова М.А., Улупов М.Ю., Шумилова Н.А., Портнов Г.В. Отработка практических навыков по лазерной хирургии в оториноларингологии. Метод. пособие. СПб.: Изд-во ПСПбГМУ; 2015. [Ryabova M.A., Ulupov M.Yu., Schumilova N.A., Portnov G.V. Development of practical skills in laser surgery in otorhinolaryngology. Method. Issue. SPb.: PSPBGMU publishment; 2015 (in Russ.)].
3. Рябова М.А., Шумилова Н.А., Степанова В.А. Выбор длины волны лазерного излучения в хирургии полипоза носа. Folia Otorhinolaryngologiae et Pathologiae Respiratoriae. 2018;24(2):22–30. [Ryabova M.A., Schumilova N.A., Stepanova V.A. Selection of laser wave length in nasal polypectomy. Folia Otorhinolaryngologiae et Pathologiae Respiratoriae. 2018;24(2):22–30 (in Russ.)].
4. Шумилова Н.А. Опыт применения высокоэнергетических лазеров в оториноларингологии. Folia otorhinolaryngologiae et pathologiae respiratoriae. 2016;22(1):75–83. [Schumilova N.A. Experience in the use of high-energy lasers in otorhinolaryngology. Folia otorhinolaryngologiae et pathologiae respiratoriae. 2016;22(1):75–83 (in Russ.)].
5. Рябова М.А., Улупов М.Ю., Шумилова Н.А. и др. Биологические эффекты лазеров с длинами волн 532, 980 и 1470 нм: экспериментальное исследование. 2019;25(1):57–66. [Ryabova M.A., Ulupov M.Yu., Shumilova N.A. et al. Biological effects of lasers with wavelengths of 532, 980 and 1470 nm: experimental study. 2019;25(1):57–66 (in Russ.)].
6. Шумилова Н.А. Выбор методики лазерного удаления полипов полости носа. Российская оториноларингология. 2015;1:135–140. [Schumilova N.A. Choice of methods of laser removal of nasal polyps. Russian otorhinolaryngology. 2015;1:135–140 (in Russ.)].
7. Рябова М.А., Шумилова Н.А. Лазерная полипотомия при антитромботической терапии. Folia Otorhinolaryngologiae et Pathologiae Respiratoriae. 2019;25(2):4–10. [Ryabova M.A., Shumilova N.A. Laser therapy in the case of antithrombotic therapy. Folia Otorhinolaryngologiae et Pathologiae Respiratoriae. 2019;25(2):4–10 (in Russ.)].
8. Каляпин Д.Д. Разнообразие подходов при лечении хронического полипозного риносинусита. РМЖ. 2018;3(2):67–70. [Kalyapin D.D. A variety of approaches to the treatment of chronic rhinosinusitis polyposa. RMJ. 2018;3(2):67–70 (in Russ.)].
9. Козырева Е.Е., Рябова М.А. Экспериментальное обоснование параметров превентивной лазерной (970 нм) коагуляции сосудов при интраоперационном кровотечении. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2018;17(4):57–61. [Kozyreva E.E., Ryabova M.A. Experimental justification of laser parameters for preventive laser (970 nm) vessel coagulation in intraoperative bleeding. Regional hemodynamics and microcirculation. 2018;17(4):57–61 (in Russ.)].