

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ»
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

Панченко Павел Игоревич

**Совершенствование хирургического лечения пациентов с хроническими
паралитическими стенозами гортани с использованием лазерной техники
(клинико-экспериментальное исследование)**

3.1.3. Оториноларингология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:

доктор медицинских наук, доцент
Кривопалов Александр Александрович

Санкт-Петербург – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	12
1.1 Определение. Классификация. Эпидемиология. Причины возникновения паралитических стенозов гортани	12
1.2 Клиника и диагностика паралитических стенозов гортани.....	15
1.3 Лечение хронических паралитических стенозов гортани.....	18
1.3.1 Лазерные методы в хирургическом лечении.....	22
1.3.1.1 Экспериментальные исследования влияния лазерного излучения на биологические модели гортани.....	22
1.3.1.2 Методики хирургического лечения хронического паралитического стеноза гортани с использованием лазерных аппаратов.....	25
1.3.2 Динамические методы лечения	28
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	33
2.1 Материалы и методы экспериментальной части исследования	33
2.1.1 Биологическая модель	34
2.1.2 Лазерное оборудование	35
2.1.3 Подготовка экспериментального материала	35
2.1.4 Методика проведения лазерного воздействия	36
2.1.5 Режимы работы лазера, оценка эффекта его воздействия на биологическую ткань	38
2.2 Материалы и методы клинической части исследования	42
2.2.1 Клиническая характеристика больных, участвующих в исследовании	43
2.2.2 Методы обследования пациентов.....	45
2.2.2.1 Видеоларингоскопия гортани	46
2.2.2.2 Функциональные методы исследования дыхательной и голосовой функции.....	47
2.2.2.3 Анкетирование.....	50
2.2.3 Хирургическое лечение	51

2.3 Статистическая обработка полученных результатов	53
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ	55
3.1 Результаты воздействия лазера на гортани баранов.....	55
3.2 Результаты воздействия лазера на живую биологическую модель	60
3.3 Обсуждение результатов экспериментального исследования	61
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ КЛИНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ	63
4.1 Анализ интраоперационных результатов	63
4.1.1 Продолжительность оперативного вмешательства	63
4.1.2 Интраоперационное кровотечение	64
4.2 Оценка послеоперационных результатов	65
4.2.1 Анализ данных видеоларингоскопического исследования	65
4.2.2 Анализ результатов исследования функции внешнего дыхания	69
4.2.3 Анализ результатов голосовой функции	72
4.2.4 Анализ результатов анкетирования.....	74
4.2.4.1 Субъективная оценка изменения дисфонии у пациентов с помощью анкеты VHI-30	74
4.2.4.2 Оценка изменения качества жизни у пациентов с помощью анкеты SF-36	75
4.3 Обсуждение результатов клинической части исследования	85
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	87
ВЫВОДЫ	89
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	90
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	91
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	92

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

В настоящее время проблема лечения хронического паралитического стеноза гортани (ХПСГ) сохраняет свою высокую клиническую значимость, что обусловлено не только тяжестью заболевания, но и тенденцией к росту числа пациентов с данной патологией [9, 21, 37, 40]. ХПСГ имеет частоту встречаемости до 0,95 случаев на 100 000 взрослого населения [74]. При этом важно отметить, что подавляющее большинство пациентов (более 80–90 %) составляют лица трудоспособного возраста [4, 12, 37, 40], что придает проблеме особую социально-экономическую актуальность. Несмотря на достигнутые успехи, хирургическое лечение этой категории больных остается далеким от окончательного решения.

В последние годы активно ведутся исследования, направленные на разработку новых подходов к терапии, включая использование генных и стволовых клеточных технологий, методы реиннервации, а также создание имплантатов для восстановления подвижности мышц гортани. Однако указанные направления либо находятся на стадии экспериментальных разработок и клинических испытаний, либо ограничены в применении вследствие технической сложности и неоднозначности клинических исходов [85, 103, 109, 114, 125, 126, 148, 150, 151, 154].

В настоящее время в клинической практике наиболее широко применяются различные варианты статического расширения голосовой щели. Существенным шагом вперед стало внедрение лазерных технологий, позволивших выполнять резекции голосового отдела гортани без необходимости превентивного наложения трахеостомы. Наибольшее распространение при этом получил СО₂-лазер [28, 56, 64, 66, 72, 76, 82, 105, 106, 120, 127, 136, 130, 137, 155]. В Российской Федерации, в отличие от ряда зарубежных стран, значительное место в практике оториноларингологии заняли полупроводниковые лазеры ближнего

инфракрасного диапазона [8, 17, 18, 23, 25, 42]. Вместе с тем, среди лазеров видимого спектра (445 нм, 532 нм, 585 нм) наиболее выраженные абляционные свойства при минимальном коагуляционном повреждении тканей, согласно данным ряда исследований, продемонстрировал лазер с длиной волны 445 нм [26, 79, 84, 90, 97, 111, 117, 124, 147].

Во время оперативного лечения особое значение имеют такие факторы, как скорость абляции тканей, выраженность термического повреждения окружающих структур, а также обеспечение сухого операционного поля, от которых напрямую зависят как продолжительность операции, так и сроки послеоперационного восстановления и возвращения пациента к трудовой деятельности. Реабилитационный период после хирургического вмешательства, как правило, составляет не менее двух месяцев [8, 10, 28]. Это обусловлено тем, что заключительным этапом лечения является фонопедическая коррекция, проведение которой возможно только после стихания воспалительно-реактивных изменений в гортани. Использование лазеров, вызывающих более выраженное повреждение окружающих тканей, может приводить к удлинению воспалительной реакции и, соответственно, к увеличению сроков реабилитации пациентов.

Степень разработанности темы исследования

В настоящее время в научной литературе представлено ограниченное количество публикаций, посвященных применению лазерных систем с длиной волны 445 нм в ларингологической практике, в частности при хирургическом лечении ХПСГ. Сравнительные клинические исследования, направленные на прямое сравнение эффективности использования лазеров с длиной волны 445 нм и 980 нм при хирургическом лечении хронического паралистического стеноза гортани отсутствуют. Учитывая, что длины волн полупроводниковых лазеров синего спектра 445 нм и инфракрасного спектра 980 нм принципиально различаются по механизму взаимодействия с биотканями и по глубине

термического воздействия, а также отсутствие сравнительных клинических исследований существенно затрудняет обоснованный выбор оптимальной технологии для практического применения. Таким образом, проведение экспериментальных и клинических исследований, посвященных сравнительной оценке эффективности и безопасности применения полупроводниковых лазеров с длинами волн 445 и 980 нм, является актуальной задачей, как с научной, так и с практической точки зрения. Полученные результаты позволят не только уточнить оптимальные параметры лазерного воздействия, но и сформировать убедительную доказательную базу для широкого использования полупроводниковых лазеров в хирургическом лечении пациентов с хроническими паралитическими стенозами гортани.

Цель исследования

Усовершенствование хирургического лечения пациентов с хроническими паралитическими стенозами гортани с использованием импульсных режимов хирургических полупроводниковых лазеров с длиной волны 445 нм и 980 нм.

Задачи исследования

1. Экспериментально на биологических моделях гортани определить параметры импульсных режимов воздействия хирургических лазеров с длинами волн 445 нм и 980 нм, обладающих оптимальными абляционными свойствами и минимальным термическим повреждением тканей.
2. Разработать способ хирургического лечения пациентов с хроническими паралитическими стенозами гортани с применением импульсных режимов полупроводниковых лазеров.
3. Оценить интраоперационные, послеоперационные результаты хирургического лечения пациентов с использованием импульсных режимов полупроводниковых лазеров с длинами волн 445 нм и 980 нм.

4. На основе анализа клинических и функциональных результатов провести сравнительный анализ эффективности хирургического лечения пациентов с хроническими паралитическими стенозами гортани с использованием импульсных режимов полупроводниковых лазеров с длинами волн 445 нм и 980 нм.

Научная новизна

Впервые выполнены экспериментальные исследования, в которых сопоставлены и обоснованы оптимальные импульсные режимы использования полупроводникового лазера с длиной волны 445 нм при работе с подачей и без подачи инертного гелия, а также лазера с длиной волны 980 нм; испытания проводились *ex vivo* на голосовых складках барана и *in vivo* на голосовых складках кроликов.

Разработан и внедрен в клиническую практику новый метод хирургической коррекции хронического паралитического стеноза гортани (патент RU 2785495 C1 «Способ хирургического лечения стенозов голосового отдела гортани» от 08.12.2022).

Впервые проведено сравнительное исследование интраоперационных показателей у пациентов с указанной патологией, оперированных с использованием полупроводниковых лазеров 445 нм и 980 нм.

Проведено сравнительное исследование послеоперационных показателей у пациентов с указанной патологией, оперированных с использованием полупроводниковых лазеров 445 нм и 980 нм, а именно комплексная оценка и сопоставление функциональных исходов хирургического лечения у этой группы пациентов после применения лазеров указанных длин волн.

Теоретическая и практическая значимость работы

В рамках экспериментального исследования были определены оптимальные параметры применения полупроводниковых лазеров с длиной волн 445 и 980 нм, обеспечивающие наиболее эффективную абляцию при минимальном уровне термического повреждения окружающих тканей.

На основании экспериментальных исследований, выполненных на биологических моделях гортани, предложены щадящие, минимально инвазивные режимы лазерного воздействия для хирургического лечения хронического паралитического стеноза гортани.

На основании результатов экспериментального исследования разработан метод хирургического лечения хронических паралитических стенозов гортани с применением импульсных режимов полупроводниковых лазеров, позволяющий в наиболее короткие сроки восстановить адекватное дыхание через естественные дыхательные пути.

В ходе работы обоснованы преимущества, безопасность и эффективность использования лазера с длиной волны 445 нм.

Методология и методы исследования

Диссертационное исследование построено по классической схеме организации научной работы. Оно выполнено в формате поискового эксперимента, а также наблюдательного когортного проспективного клинического исследования. Для получения данных применялся комплекс методов: экспериментальные (биологические модели *ex vivo* и *in vivo*), морфологические (анализ гистологических препаратов с окраской по стандартной методике гематоксилин-эозином), клинические (оценка жалоб, анамнестических сведений и данных объективного оториноларингологического осмотра), инструментальные (видеоларингоскопия гортани с использованием ригидного эндоскопа или фиброларингоскопа), функциональные (исследование функции

внешнего дыхания, акустический анализ голоса), а также анкетирование (опросники Voice Handicap Index-30 (VHI-30) и Short Form-36 Health Survey (SF-36)).

При обработке результатов применялись как количественные, так и качественные методы анализа с использованием статистических критериев достоверности, адекватных для равномерных выборок.

Положения, выносимые на защиту

1. Оптимальными режимами интраоперационного воздействия полупроводниковых лазеров, обладающих максимальными абляционными свойствами с минимальными термическими повреждениями окружающих тканей, являются: для длины волны 445 нм – контактный режим с импульсной мощностью 10 Вт, длительность импульса 10 мс, длительность интервала между импульсами 100 мс; для длины волны 980 нм – импульсная мощность 24 Вт, длительность импульса 30 мс, длительность интервала между импульсами 50 мс.

2. Предложенная методика хирургического лечения хронического паралистического стеноза гортани с применением полупроводниковых лазеров является эффективной и безопасной.

3. Применение полупроводникового лазера с длиной волны 445 нм в хирургическом лечении хронических паралистических стенозов гортани способствует более выраженному и ускоренному регрессу послеоперационных воспалительных изменений в послеоперационной ране по сравнению с лазером 980 нм, что обеспечивает возможность более раннего начала реабилитационных мероприятий и сокращение сроков возвращения пациентов к профессиональной деятельности.

Степень достоверности и апробация результатов

Надежность полученных результатов обеспечена достаточным объемом выборки, корректным применением исследовательских методик и использованием современных методов статистической обработки. Анализ данных проводился с использованием программного обеспечения StatTech v.2.7.1 (ООО «Статтех», Россия) и IBM SPSS Statistics v.27.

Основные положения исследования были представлены на следующих научных мероприятиях: VI Всероссийский форум оториноларингологов с международным участием «Междисциплинарный подход к лечению заболеваний головы и шеи» (Москва, октябрь 2022 г.); IV Всероссийский конгресс Национальной медицинской ассоциации оториноларингологов России (Казань, ноябрь 2022 г.); 69-я научно-практическая онлайн-конференция «Молодые ученые – российской оториноларингологии» (Санкт-Петербург, январь 2023 г.); XII форум оториноларингологов России «130 лет Российской оториноларингологии» (Санкт-Петербург, апрель 2023 г.); XI Международный междисциплинарный конгресс по заболеваниям органов головы и шеи в рамках II Конференции им. М.И. Перельмана – В.Г. Зенгера «Актуальные вопросы хирургии дыхательных путей» (Санкт-Петербург, июнь 2023 г.); XIV Петербургский форум оториноларингологов России (Санкт-Петербург, апрель 2025 г.).

Внедрение результатов исследования в практику

Материалы диссертации внедрены в клиническую практику взрослого хирургического отделения ФГБУ «Санкт-Петербургский НИИ уха, горла, носа и речи» Минздрава России. Полученные результаты применяются в образовательном процессе при подготовке врачей-курсантов циклов усовершенствования по оториноларингологии, а также аспирантов и ординаторов.

Личный вклад автора

Автор принимал непосредственное участие во всех этапах выполнения работы. Им были сформулированы цели и задачи исследования, разработан дизайн и определены методы обследования. Экспериментальная часть, клиническое обследование, сбор и статистическая обработка данных выполнены диссертантом лично. Автор участвовал в проведении хирургических вмешательств и в послеоперационном ведении пациентов. Основные результаты оформлены в публикациях и представлены на научных форумах и конференциях.

Публикации по теме диссертации

По теме диссертации опубликовано 8 научных работ. Среди них: 1 статья – в изданиях, входящих в базы данных Scopus и РИНЦ; 3 статьи – в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией; 4 тезиса. Получен патент Российской Федерации на изобретение № 2785495 С1 «Способ хирургического лечения стенозов голосового отдела гортани» (08.12.2022).

Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 108 страницах машинописного текста и включает: введение, четыре главы, раздел обсуждения результатов, заключение, выводы и практические рекомендации, а также список литературы, состоящий из 159 источников (47 отечественных и 112 зарубежных). В тексте представлено 27 рисунков и 10 таблиц.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Определение. Классификация. Эпидемиология. Причины возникновения паралитических стенозов гортани

Стеноз гортани – сужение ее просвета, приводящее к нарушению дыхательной функции [3, 20, 62, 146].

Результаты морфометрического исследования Н.Е. Eckel, С. Sittel (1994 г.) продемонстрировали, что у взрослых людей просвет дыхательных путей на уровне голосовой щели при максимальном отведении голосовой складки составляет 150-200 мм², а при паралитическом стенозе просвет сужается до 30-60 мм² [77]. В ряде работ было продемонстрировано, что при площади голосовой щели более 50 мм² стеноз считается компенсированным, т.к. при этом возможна адекватная легочная вентиляция. При уменьшении просвета менее 50 мм² развивается гиповентиляция, гипоксия и гиперкапния, т.е. декомпенсация дыхания [107, 157].

По времени развития стенозы разделяются на: молниеносные – несколько секунд до 1 минуты; острые – до суток; подострые – в течение нескольких дней; хронические – в течение нескольких месяцев [1, 3, 29, 33].

Пареза и паралича гортани – расстройство двигательной функции мышц гортани в виде уменьшения силы и амплитуды или полного отсутствия произвольных движений, обусловленное нарушением иннервации. Под термином парез подразумевается нарушение двигательной активности, которое частично или полностью проходит в течение 6 месяцев. Если двигательная функция мышц не восстанавливается более 6 месяцев, то выносится диагноз паралич мышц гортани. Нарушение подвижности гортани может быть как односторонним, так и двусторонним. Стеноз гортани с развитием дыхательной недостаточности возникает при двустороннем поражении. При установлении диагноза паралитический стеноз гортани возможно проведение хирургических

вмешательств, направленных на расширение голосовой щели [5, 15, 20, 21, 27, 63, 110, 116].

В 2004 году М.С. Плужников, М.А. Рябова и соавт. предложили классификацию хронических стенозов гортани, в основу которой легла классификация А.Г. Лихачева (1981) и Э.А. Цветкова (1999). В данной классификации ХПСГ вынесены в отдельную группу, в которой выделяют центральные и периферические причины возникновения стеноза [23].

Причины развития хронического паралитического стеноза гортани (ХПСГ) разнообразны. За время изучения данной патологии предлагались различные классификации заболевания, в том числе основанные на этиологическом факторе. Д.И. Тарасов с соавторами в 1982 году предложили выделять паралитические, рубцовые (посттравматические и постинфекционные) и опухолевые стенозы гортани [36]. В.С. Погосов в 1983 г. предложил подразделять стенозы в зависимости от структурных изменений: хронические рубцовые, дистрофические, дислокационные, паралитические [24].

Согласно данным ряда исследователей, ведущей причиной развития периферических форм ХПСГ являются ятрогенные повреждения, возникающие в ходе хирургических вмешательств на шее, частота которых варьирует от 44 до 82,8 %. Наибольший риск повреждения возвратного гортанного нерва связан с операциями на щитовидной и паращитовидных железах, где его частота достигает 78–90 % (при первичных вмешательствах – около 2,2 %, при повторных – до 75,8 %); на пищеводе – 2,7%; на рядом расположенных органах (сердце, аорта, органы средостения) – 2,7-10%; злокачественные опухоли (поражение легких, лимфатических узлов средостения, паратрахеальной области; злокачественные образования пищевода, трахеи, гортани, шеи, лимфомы, метастазы в головной мозг) – 8-18,8%; интубация трахеи – 2,7-15% [2, 4, 6, 12, 19, 21, 30, 50, 54, 61, 92, 94, 108, 129, 133].

К другим причинам развития данной патологии относятся нейрогенные (центральные) причины – 3,8-22%; травма (шеи, гортани) – 1-17,8%; инфекции (туберкулез, сифилис, вирусы герпеса и гриппа, инфекционный мононуклеоз,

бешенство, полиомиелит, болезнь Лайма) – 1%; воспалительные заболевания гортани – 1%; осложнения лучевой терапии – 1%; идиопатические – 2,2-12% [2, 4, 6, 12, 19, 21, 30, 50, 54, 61, 92, 94, 108, 129, 133].

Центральные (нейрогенные) параличи гортани могут возникать при широком спектре патологических состояний, затрагивающих головной мозг и нервную систему. К ним относят церебральные параличи, воспалительные заболевания (энцефалит), сосудистые нарушения, включая атеросклеротические изменения и острые нарушения мозгового кровообращения, а также травматические повреждения (контузии) и опухолевые процессы головного мозга. Параличи гортани могут быть связаны с врожденными и дегенеративными заболеваниями нервной системы, такими как мальформация Арнольда–Киари, боковой амиотрофический склероз, синдром Гийена–Барре, рассеянный склероз, наследственные формы невралной амиотрофии, гидроцефалия. Кроме того, развитие данной патологии возможно под воздействием нейротоксинов (свинца, мышьяка, этанола, хинина), а также при медикаментозных и химических интоксикациях (стрептомицин, винкристин, органические растворители). Существенную роль в формировании паралитического стеноза могут играть и системные ревматологические заболевания: системная красная волчанка, ревматоидный артрит, рецидивирующий полихондрит, саркоидоз, гранулематоз Вегенера. Дополнительным предрасполагающим фактором является внеклеточный диспротеиноз – нарушение белкового обмена [2, 4, 6, 12, 19, 21, 30, 50, 54, 61, 92, 94, 108, 129, 133].

Хронический паралитический стеноз гортани (ХПСГ) считается редким заболеванием с примерной частотой 0,95 случаев на 100 000 человек [74]. Частота встречаемости паралича мышц гортани среди хронических заболеваний голосового аппарата составляет 15 – 29,9%, а среди всех хронических стенозов гортани – 36% [4, 37, 83]. Важно отметить, что данным заболеванием в 80-90% случаев страдают люди трудоспособного возраста, из них 85% составляют женщины [4, 12, 37, 40]. В последние годы отмечается тенденция к росту данной патологии в связи с увеличением количества этиологических факторов, в

основном связанные с возросшей хирургической активностью на органах шеи и грудной клетки [21].

За последние годы, согласно анализу российской и иностранной литературы, меняется структура этиологических факторов развития паралитических стенозов. Увеличивается количество стенозов гортани, связанных с хирургической активностью не только на щитовидной железе, но и на других органах шеи, грудной клетке. Также более частой причиной становятся злокачественные новообразования и последствия различных методов их лечения. Диагноз “идиопатический стеноз” сейчас устанавливается реже, что связано с повышением качества диагностики, в том числе с внедрением в диагностику компьютерной томографии (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ) [4, 12, 21, 30, 50, 54, 61, 92, 94, 108, 129, 133].

1.2 Клиника и диагностика паралитических стенозов гортани

Основные функции гортани – дыхательная, голосообразовательная, защитная [2, 33]. При парезах/параличах гортани клиника зависит от положения “замирания” голосовой складки. Выделяют 4 положения: медианное (голосовое), парамедианное, интермедианное и латеральное (дыхательное). Развитие дыхательной недостаточности наблюдается при двустороннем медианном и парамедианном положении. Промежуточное и латеральное положение вызывают ухудшение качества голоса и дисфагию [2, 7, 19, 21].

Ряд авторов рекомендует дифференцировать паралич гортани от вывиха, подвывиха, артрита и анкилоза перстнечерпаловидного сустава, вызывающего неподвижность голосовых складок [12, 70, 108, 135]. При патологии перстнечерпаловидного сустава отмечается дополнительная зона рубцового сужения участка дыхательных путей в 46,9% случаев, а при паралитическом стенозе в 5,4%, отличия объясняются причиной возникновения патологии – в 81,3%-95,0% случаев неподвижность сустава возникает при проведении длительной интубации более 24 часов [102, 108]. Самым информативным

способом дифференциальной диагностики вышеперечисленных заболеваний остается «инструментальная пальпация» черпаловидного хряща при трансоральной микроларингоскопии [12, 19, 70, 108].

В ряде работ отмечается, что длительный (более 6 месяцев) паралитический стеноз гортани не вызывает неподвижность (анкилоз) перстнечерпаловидного сустава, хотя дистрофические процессы в суставе развиваются по типу остеоартроза [81, 88, 91, 108, 115].

Важным в диагностике ХПСГ является тщательный сбор анамнеза с уточнением этиологии заболевания. Основой диагностики является непрямая ларингоскопия, выполняемая с использованием гортанного зеркала, эндовидеоборудования: ригидных и фиброларингоскопов. С помощью последних возможно хорошо осмотреть подголосовой отдел и трахею для диагностики дополнительных зон сужения [4, 7, 21, 33].

При неясной этиологии заболевания проводится комплексное обследование, включающее визуализацию шеи, органов грудной клетки и головного мозга с использованием КТ и МРТ с контрастным усилением, а также ультразвуковое исследование шейной области. Дополнительно выполняется КТ пищевода с применением рентгеноконтрастного препарата и эндофиброэзофагоскопия. Для уточнения диагноза пациент направляется на консультации к смежным специалистам – эндокринологу, пульмонологу, сосудистому хирургу, неврологу, кардиологу и онкологу [4, 7, 21].

Электромиография гортани (LEMG) позволяет оценить целостность нервов и состояние внутренних мышц гортани и является достаточно достоверным методом исследования, который может использоваться для верификации диагноза и выбора тактики лечения пациента. Использование в диагностике LEMG при паралитических стенозах гортани позволяет прибегать к выполнению более ранних оперативных вмешательств, без использования выжидательной тактики в течение 6-12 месяцев [47, 68, 101, 122, 123, 153].

Спирометрия – это доступный, неинвазивный метод оценки состояния дыхательной системы, основанный на измерении воздушных потоков и объемов

при выполнении спокойных и форсированных дыхательных маневров. Этот метод позволяет оценить влияние стеноза на функцию дыхательных путей, контролировать течение заболевания, оценивать эффективность лечения и предоперационные риски. Спирометрия дает важную информацию, которая в сочетании с другими клиническими методами помогает в постановке диагноза [34, 39, 134]. Для оценки характера вентиляционных нарушений используются показатели форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ), объема форсированного выдоха за одну секунду ($ОФВ_1$), отношение $ОФВ_1/ФЖЕЛ$ (индекс Генслера). При обструктивных нарушениях снижаются скоростные показатели, такие как, $ОФВ_1$ и $ОФВ_1/ФЖЕЛ$. Самым стандартизированным и в меньшей степени зависимым от приложенных усилий со стороны пациента является $ОФВ_1$, но его изменения носят неспецифический характер [34, 39].

О нарушениях со стороны верхних дыхательных путей (ВДП) можно судить по характеру кривых поток-объем (переменная экстраторакальная, интраторакальная, фиксированная обструкция). Для пациентов с экстраторакальной обструкцией при ХПСГ, в основном, характерно ограничение воздушного потока на вдохе, но и на выдохе также отмечаются ограничения, но менее выраженные [34, 39]. Для повышения специфичности при диагностике определения экстраторакальной обструкции, которая развивается при ХПСГ, используется соотношение максимального объема скорости вдоха ($МОС_{50вд}$) и максимального объема скорости выдоха ($МОС_{50выд}$). $МОС_{50выд}/МОС_{50вд}$ в норме не превышает 1 [34].

Распространенным критерием нарушения проходимости верхних дыхательных путей является индекс диспропорции выдоха (EDI) (модификация индекса Empey), определяемый как соотношение $ОФВ_1$ к пиковой скорости выдоха (PEF), умноженной на 100 ($ОФВ_1$ л / PEF л/с $\times$ 100). $ОФВ_1$ преимущественно зависит от свойств мелких внутригрудных дыхательных путей и, следовательно, в меньшей степени зависит от наличия стеноза гортани по сравнению с PEF, поэтому при стенозе гортани развивается диспропорция между $ОФВ_1$ и PEF. На сегодня нет однозначных мнений по пороговому значению EDI,

но по мнению многих авторов этот показатель является высокочувствительным и специфичным для выявления обструкции ВДП [39, 53, 59, 112, 73, 93].

Акустический анализ голоса является объективным способом оценки физических характеристик голоса. Помогает оценить голосовые показатели до операции, после операции и фонопедических занятий. Рекомендуется оценка таких показателей таких, как частота основного тона (ЧОТ), нестабильность голоса по частоте (Jitter, %) нестабильность голоса по амплитуде (Shimmer, %), соотношение шумовых и гармоничных компонентов (NHR) [43, 44, 69].

1.3 Лечение хронических паралитических стенозов гортани

В 1871 г. Шреттер сообщил о попытках хирургического лечения ХПСГ с помощью иссечения голосовой складки [46]. До этого времени единственным способом улучшения дыхания была трахеостомия. С тех пор прошло более 150 лет, и за это время было предложено множество других оперативных методик, направленных на улучшения дыхательной функции гортани [46, 110, 139].

Была проведена попытка систематизировать оперативные методики, в результате было выделено три варианта хирургического лечения:

1. Направленное на расширение просвета голосовой щели (статические):
 - резекция анатомических структур;
 - реконструкция и смещение существующих структур с минимальной резекции тканей (шовные и резекционные);
 - смещение существующих структур без резекции тканей (шовные);
2. Направленное на восстановление или замещение нарушенной иннервации мускулатуры гортани (динамическое): реиннервация (селективная, неселективная), имплантация в заднюю перстнечерпаловидную мышцу активных электродов;
3. Трахеостомия (на данный момент не должно являться окончательным способом лечения).

Хирургические доступы подразделяют на:

- 1) эндоскопические (через естественные дыхательные пути);
- 2) наружные: со вскрытием просвета дыхательных путей (передние, передненижние); без вскрытия просвета дыхательных путей (передние, латеральные, задние, задненижние) [7, 46, 139].

В связи с тем, что решение о проведении хирургического вмешательства принимается только через 6-12 месяцев, то при развитии декомпенсации дыхательной функции прибегают к трахеостомии или эндоскопической временной шовной односторонней латерофиксации голосовой складки. Ряд авторов рекомендует выполнять шовную латерофиксацию, заменяя этим трахеостомию, т.к. данное хирургическое лечение легче переносится пациентами, нивелирует осложнения, связанные с наложением трахеостомы и ношением трахеостомической трубки. Минусом данного оперативного вмешательства является возможность прорезывания нитей, что может привести к повторной декомпенсации дыхательной функции [21, 75, 87, 104, 158]. Согласно литературным данным к вышеперечисленным способам рекомендуют прибегать только при снижении максимального выдыхаемого потока воздуха ниже 40% от нормального для каждого конкретного пациента [2].

Для временного облегчения обструкции дыхательных путей легкой и умеренной степени при ХПСГ хорошо себя зарекомендовало введение ботулотоксина в мышцы гортани. Данная методика в ряде случаев может помочь пациентам избежать наложения трахеостомы или даже стать альтернативой хирургического лечения, облегчить симптомы и дать время для потенциального восстановления иннервации гортани [35, 77, 89].

Согласно литературным данным, наибольшее распространение получили эндоскопические резекционные методики, эффективность которых подтверждена многолетней клинической практикой. Суть данных вмешательств заключается в удалении голосовой складки и/или черпаловидного хряща в различном объеме. В настоящее время описано большое количество модификаций и вариантов выполнения подобных операций [6, 21, 32, 41, 46, 113, 138, 145, 146].

По данным морфометрических исследований гортани, которые были проведены для определения размеров ее поперечного сечения, показано, что хордэктомия потенциально приводит к большему расширению голосовых путей ($169 \pm 20 \text{ мм}^2$ у мужчин и $138 \pm 22 \text{ мм}^2$ у женщин), чем аритеноидэктомия ($42 \pm 12 \text{ мм}^2$ у мужчин и $34 \pm 6 \text{ мм}^2$ у женщин) [78].

До внедрения лазерных аппаратов в медицинскую практику одной из самых популярных методик являлась эндоскопическая аритеноидэктомия, предложенная в середине прошлого века W. Thornell. Данная методика заключалась в подслизистом удалении черпаловидного хряща. По данным литературы в 82% случаев полученные результаты рассматривались как положительные, в 10% случаях требовалась повторная операция, в 14% случаев после двух операций результаты были неудовлетворительными [143, 144, 159].

O. Kleinsasser в 1968 г. первый описал прямую ларингоскопию с использованием микроскопа – микроларингоскопию, а также разработал множество инструментов для хирургии гортани, которые используются и в настоящее время, что дало большой толчок в развитие эндоскопических методик в ларингологии. Он модифицировал эндоскопическую аритеноидэктомию, предложенную Thornell W., дополнительно выполняя подслизистую резекцию задней порции голосовой складки [98, 99].

A. Sercer в 1936 г. предложил выполнять резекцию голосовых и вестибулярных складок с двух сторон. В послеоперационном периоде дыхательная функция была удовлетворительной, а голос описывался как “грубый и приятный” [131].

До 1970 года все вмешательства на гортани как наружным, так и эндоскопическими доступами выполнялись с превентивным наложением трахеостомы, пока R. Langnickel и E. Koburg не предложили эндоларингеальную резекцию черпаловидного хряща и задней трети голосовой складки с одновременной шовной латерофиксацией. В 1986 Н. Schobel предложил задний наружный доступ без вскрытия дыхательных путей и без наложения превентивной трахеостомы [139].

Большинство остальных предложенных методик, которые не требовали наложения превентивной трахеостомы, выполнялись эндоларингеально, и, в основном, при помощи хирургического лазера [139].

Н.Е. Eskel в 1994 году сравнивал хордэктомию и аритеноидэктомию по оценке голосовой, дыхательной и глотательной функции. В его исследовании два метода были одинаково эффективны в отношении дыхательной функции. Голосовая функция снижалась в равной степени в обеих группах и демонстрировала значительные индивидуальные колебания, что делало невозможным прогнозирование качества голоса в послеоперационном периоде. При этом у половины пациентов после аритеноидэктомии отмечались признаки субклинической аспирации [69].

По работам авторов, изучающих осложнения после проведения эндоскопических операций на гортани, были сделаны выводы о возможности повреждения слизистых оболочек полости рта, глотки в 30-75% случаев, неврологические нарушения со стороны языка в 1,9-16,9%, при этом для восстановления вышеперечисленных осложнений требовалось не более 14 дней. Повреждение зубов происходило в 0,55-6,5%. Таким образом, эндоскопический метод можно рассматривать как безопасный метод, т.к. возможные операционные осложнения имеют легкий характер и самостоятельно проходят в течение 14 дней [67, 100, 118].

В последнее время в литературе появляются работы, посвященные выполнению задней хордэктомии с использованием коблатора. M.S. Benninger в 2022 году приводит результаты 94 пролеченных пациентов. Из них в 22% случаев потребовалась повторная операция, 4-х из 2-х исследованных пациентов не удалось деканулировать [55]. А.А. Ibrahim в 2023 г. сравнил результаты проведения кобляционной и электрохирургической радиочастотной задней хордотомии. Статистически значимых отличий в реабилитации пациентов получено не было [95]. В ряде работ проводится опыт задней хордэктомии с помощью радиочастотной электрохирургической аппаратуры, согласно которым результаты исследования статистически не отличаются от других методов по

функциональным результатам [10, 119, 121]. Вышеперечисленные авторы говорят о надежной и эффективной альтернативе лазерным способам [95, 119, 121].

1.3.1 Лазерные методы в хирургическом лечении

1.3.1.1 Экспериментальные исследования влияния лазерного излучения на биологические модели гортани

Началом лазерной эры принято считать 16 мая 1960 г., когда Теодор Гарольд Мейман представил первый твердотельный лазер на кристалле рубина, излучающий свет с длиной волны 694,3 нм, что вызвало большой интерес со стороны медицинского сообщества [11].

G.J. Jako в 1972 году впервые опубликовал результаты применения CO₂-лазера в экспериментальных исследованиях на гортанях животных с использованием операционного микроскопа Zeiss. Эта работа показала высокую точность и эффективность лазерной диссекции, положив начало широкому внедрению CO₂-лазера в клиническую оториноларингологию [96].

CO₂ – лазер с длиной волны 10,6 мкм хорошо зарекомендовал себя как эффективный и безопасный инструмент для резекции мягких тканей. Основным хромофором для данного типа лазера является вода. Глубина поглощения составляет около 50 мкм, что обеспечивает хорошие абляционные свойства. Термическое воздействие ограничено тонким слоем биоткани вокруг области экспозиции, при этом происходит коагуляция капилляров и сосудов диаметром до 0,5 мм. В начальный период внедрения CO₂-лазера глубина термического повреждения могла достигать 1200 мкм [11, 17, 31, 149]. Однако благодаря совершенствованию аппаратных компонентов современных лазерных установок, глубина повреждения тканей в настоящее время снижена до среднего значения около 25 мкм [71].

Лазер Nd:YAG – это первый лазер излучающий в ближнем инфракрасном спектре (1024 нм), который использовался в лечение ХПСГ. Известно, что

излучение данной длины волны демонстрирует высокую проникающую способность в кровенасыщенные ткани – до 5–8 мм, особенно эффективно поглощается карбонизированными и денатурированными тканями [18]. В целях минимизации неблагоприятного влияния этого излучения на прилегающие к зоне абляции ткани Плужниковым М.С. был предложен контактный метод воздействия [22]. При данном способе в зоне контакта с тканью формируется карбонизат на дистальном торце световода, что многократно увеличивает поглощение лазерного излучения, способствует интенсивному нагреву, а также образованию пузырька водяного пара вокруг нагретого торца. Благодаря этому происходит локализация тепловой энергии, которая обеспечивает быстрый нагрев волокна до температуры более 1000 °С, при этом температура ткани в зоне воздействия также быстро повышается до значений выше 100 °С, что приводит к абляции ткани. Одновременно снижается интенсивность теплового воздействия на более глубокие слои за счет ограниченного проникновения энергии. Для эффективной абляции и минимизации глубины термического повреждения необходимо обеспечить быструю инициацию карбонизации на торце световода, чему способствует высокая мощность излучения. С этой целью рекомендовано предварительное нанесение на поверхность ткани слабых растворов перманганата калия или бриллиантового зеленого. Применение контактного метода воздействия с Nd:YAG-лазером позволяет снизить глубину термического поражения окружающих тканей до 2 мм [17, 18, 23, 51].

Лазеры с длинами волн 970–980 нм, относящиеся к ближнему инфракрасному диапазону, характеризуются выраженным локальным максимумом поглощения в воде и цельной крови. В отличие от Nd:YAG-лазера, глубина проникновения излучения 980 нм в ткани составляет приблизительно 2–3 мм. При использовании контактного метода достигается эффективная абляция при меньшем термическом повреждении прилежащих тканей. Согласно данным литературы в контактном непрерывном режиме глубина термического поражения в среднем составляет около 1 мм, а в импульсном режиме – от 0,5 до 0,75 мм [9, 17, 18, 23, 25, 42, 51, 70]. В исследовании Подкопаевой Ю.Ю. выполненного в

2016 году на тканях свиной печени было выявлено, что наименьшее термическое повреждение наблюдалось при использовании режима: импульсная мощность – 24 Вт, длительность импульса – 30 мс, интервал между импульсами – 50 мс [25].

Лазер с длиной волны 445 нм (синий спектр видимого излучения) демонстрирует высокое сродство к основным хромофорам крови – гемоглобину и оксигемоглобину, что обеспечивает высокий уровень поглощения и выраженные абляционные свойства. По сравнению с лазерами в инфракрасном диапазоне, в частности с излучением 980 нм, излучение длиной волны 445 нм позволяет достичь аналогичного уровня абляции при меньшей энергетической нагрузке, как в контактном, так и в дистантном (на расстоянии 1 мм от поверхности ткани) режиме. При сравнении параметров термического повреждения воздействия лазеров различных диапазонов (810, 980, 1064 и 1460 нм в инфракрасном диапазоне, 405, 445, 514 и 532 нм в видимом спектре) установлено, что минимальные и равномерные зоны повреждения наблюдаются именно при использовании излучения 445 нм. В ряде исследований сообщается, что максимальная толщина термически поврежденного слоя при непрерывном воздействии лазера 445 нм не превышает 400 мкм [49, 60, 84, 124]. Средняя глубина термического повреждения слизистой оболочки полости рта при использовании лазера 445 нм в контактном непрерывном режиме с мощностью 2 Вт составляла 90 мкм, при максимальной глубине – до 400 мкм [49, 60]. Согласно имеющимся литературным данным синий лазер (445 нм) продемонстрировал лучшие резекционные и фотоангиолитические свойства по сравнению с другими фотоангиолитическими лазерами – KTP (532 нм) и PDL (585 нм), при этом характеризуется меньшей склонностью к индукции фиброзных изменений в зоне воздействия [16, 57, 79, 84, 90, 97, 111, 117, 124, 147].

Результаты исследований, выполненных Кривопаловым А.А. и соавт. в 2022 году показали, что при применении лазера 445 нм в импульсном режиме на мышечной ткани курицы наблюдалась эффективная абляция при минимальной зоне термического повреждения, что подтверждает перспективность применения данного лазера в хирургической практике ЛОР-органов [26]. Следует, однако,

отметить, что в упомянутых работах эффективность лазерного воздействия оценивалась на биологических моделях, не идентичных по своим морфологическим и биохимическим характеристикам с тканями гортани. В частности, лазер с длиной волны 445 нм изучался на мышечной ткани куриной грудки [26], а излучение 980 нм – на ткани свиной печени [25]. Данные модели существенно отличаются от гортанных тканей по архитектуре, плотности сосудистого русла и распределению хромофоров (гемоглобина, оксигемоглобина, меланина), играющих ключевую роль в процессе абляции. В связи с этим для получения более достоверных результатов необходимо проводить исследования на моделях с кровоснабжением и более близким по гистологическому строению тканям, максимально приближенных по структуре и функциям к голосовым складкам человека.

1.3.1.2 Методики хирургического лечения хронического паралистического стеноза гортани с использованием лазерных аппаратов

Предложенный О. Kleinsasser способ подвесной микроларингоскопии и способ использования лазера G.J. Jako позволили хирургам одновременно резецировать ткани гортани и выполнять другие манипуляции в просвете дыхательных путей с большой точностью, что позволило микроларингоскопии постепенно начать соревноваться с открытой хирургией гортани, в том числе и в лечении злокачественных новообразований [52, 86, 156].

В иностранной литературе представлено большое количество способов применения CO₂-лазера в лечении ХПСГ [139]. Первая работа, посвященная выполнению аритеноидэктомии у пациентов с ХПСГ были опубликованы M.S. Strong, G.J. Jako в 1976 г. Были получены хорошие результаты, однако детали самого метода в литературе не были обсуждены [141]. Анализируя литературные данные в вопросе объема резекции, можно выделить три основные группы: резекция черпаловидного хряща, голосовой складки, комбинированные методы (резекция части черпаловидного хряща и голосовой складки).

Методики резекции черпаловидного хряща. В 1984 году R.H. Ossoff с соавторами описали подробную методику использования СО-2 лазера, выполняя лазерную абляцию всего черпаловидного хряща вместе с его голосовым и мышечным отростками. Рана заживала вторичным натяжением, а на третьей неделе после операции покрывалась слизистой оболочкой [82]. M. Remacle в 1996 году предложил субтотальную резекцию черпаловидного хряща, которая в отличие от аритеноидэктомии должна была снизить риск развития аспирации за счет сохранения задней трети тела черпаловидного хряща [136]. К. Sato с соавторами в 2001 году предложили подслизистую аритеноидэктомию с использованием СО2-лазера с фиксацией слизистого лоскута фибриновым клеем [130]. По данным литературы продемонстрирована, безопасность и эффективность лазерной аритеноидэктомии [66, 106, 137, 146, 155]. Некоторые авторы сообщали, что у данной группы пациентов в послеоперационном периоде отмечался аспирационный синдром в редких случаях с развитием аспирационной пневмония [106, 138, 155]. В работах других авторов признаков аспирации после аритеноидэктомии не наблюдалось [66, 146]. В своей публикации Y. Taner с соавторами в 2016 г. сообщали, что из 150 пациентов после аритеноидэктомии в неотложном порядке была наложена трахеостома 4-м пациентам (2,67%) [146].

Методики резекции голосовой складки. D. Dennis и H. Kashima в 1989 году предложили метод задней хордэктомии с использованием СО-2 лазера, который заключался в рассечении голосовой складки в задней трети в форме треугольника, вершина которого была направлена к вестибулярной складке на глубину 4 мм. Повторные операции требовались в 60 % случаях [72]. H.E. Eckel в 1991 г. выполнял подслизистую резекцию всей голосовой складки, но при этом не резецировал голосовой отросток черпаловидного хряща, а выделенный слизистый лоскут фиксировал фибриновым клеем [76]. U. Reker и H. Rudert в 1998 г. выполняли хордэктомию с рассечением голосовой складки в средней трети в латеральной части [127].

Комбинированные методики резекции голосовой складки и черпаловидного хряща. G. Lichtenberger в 1997 г. рекомендовал две

модификации резекции с наложением эндо-экстраларингиальных швов. В первом случае при парамедианном положении голосовой складки разрез выполнялся по верхней ее поверхности, отступая от передней комиссуры на 2 мм и до голосового отростка, голосовую мышцу резецировали, после чего одним или двумя швами фиксировали слизистой лоскут. Во втором случае при медианном или парамедианном положении голосовой складки и анкилозом перстнечерпаловидного сустава голосовую складку резецировали в том же объеме, дополняя операцию аритеноидэктомией. В остальных моментах выполнения методов было схоже [105]. M.S. Benninger с соавторами в 1998 г. предложили подслизистую резекцию задней трети голосовой складки и голосового отростка черпаловидного хряща с формированием слизистого лоскута, который фиксировали фибриновым клеем [56]. В 1999 г. F. Pia с соавторами выполняли резекцию в объеме: голосовой отросток черпаловидного хряща, задние 2/5 голосовой складки, вестибулярной складки на данном уровне, заканчивая операцию покрытием раневой поверхности фибриновым клеем [120]. M. Maurizi в 1999 г. помимо удаления задней трети голосовой складки выполнял субтотальную резекцию черпаловидного хряща [64].

М.Ю. Хоранова с соавторами в 2022 г. предложили 3 различных модификации задней хордэктомии с использованием CO₂-лазера при различных клинических ситуациях. В зависимости от степени стеноза, сопутствующей патологии, наличии/отсутствии трахеостомы авторы предлагали выполнять: заднюю частичную хордотомию; заднюю вестибулохордотомию; заднюю хордотомию с пластикой раневого дефекта. Из 143 прооперированных пациентов первичная операция была успешна в 90% случаев [28].

Перечисленные выше методики были предложены для использования СО-2 лазера. Применения лазеров в ближнем инфракрасном спектре излучения первым были предложены Плужниковым М.С. в 1986 г. для лечения хронических паралитических стенозов гортани. Он предложил использовать лазер на алюмо-иттриевом гранате, активированном неодимом (Nd:YAG лазер) в контактном режиме с длиной волны 1064 нм [17, 23]. Необходимость внедрения данной

технологии была обусловлена ограниченными гемостатическими возможностями СО₂-лазера при резекциях черпаловидного хряща и задней трети голосовой складки при повреждении а. arytenoidea [23].

Долгов О.И. в 2015 г. использовал диодный лазер с длиной волны 810 нм, очень схожим по своим свойствам с Nd:YAG (1064 нм) [17]. В непрерывном режиме 7-8 Вт выполняли парциальную хордаритеноидэктомию, и три варианта расширенных резекций. Пролечено с удовлетворительным результатом 96% пациентов [8].

Подкопаевой Ю.Ю. в 2016 году предложен способ хордаритеноидотомии с использованием лазера с длиной волны 980 нм в импульсном режиме мощностью 24 Вт, длительностью импульса 30 мс, паузой между импульсами 50 мс. Все пациенты (12 человек), включенных в исследование были реабилитированы по дыхательной функции [25].

Как правило, неудачи оперативного лечения ХПСГ с использованием лазерных технологий обусловлены образованием грануляций или рубцовой ткани. При хордэктомии может образовываться «псевдоскладка» из соединительной ткани, идущая от передней комиссуры до черпаловидного хряща, занимающая все пространство удаленной ранее складки, что приводит к дыхательной недостаточности и необходимости повторных операций [139].

1.3.2 Динамические методы лечения

Данная группа методов лечения нацелена на восстановление дыхательной и голосовой функций с сохранением тканей гортани.

Метод реиннервации характеризуется сложным технологическим процессом, однако высокоперспективным в плане реабилитации пациента.

Описывают два варианта реиннервации: селективный и неселективный. В первом случае нерв для реиннервируемой мышцы соединяется с помощью анастомоза нерв-мышца, что обеспечивает восстановление подвижности одной или нескольких мышц. При неселективном методе происходит восстановление

подвижности за счет анастомозирования конец в конец культы возвратного гортанного нерва с другими нервами (чаще используют подъязычный нерв и общую ветвь *ansa cervicalis*). При данном методе хорошо восстанавливается тонус мышц, но из-за феномена синкинезии (непроизвольные двигательные акты, появляющиеся в одной части тела при произвольных движениях в другой, возникающие из-за случайной неполной реиннервации, возникающий при данном методе), полноценного движения не происходит. Ряд авторов предполагает, что данный способ имеет преимущества перед статическими способами лечения одностороннего паралича гортани [109, 125, 154].

Н.М. Tucker в 1989 году опубликовал результаты реиннервации с использованием нервно-мышечной ножки из *ansa cervicalis*. Было прооперировано 214 больных, долгосрочный положительный эффект наблюдался у 74% пациентов [150]. Для предотвращения синкинезии во время вдоха выполняют деиннервацию приводящих мышц и осуществляют реиннервацию ветвью *ansa cervicalis* идущей в щитовидной железе. Данный нерв не активен во время вдоха, но активен при фонации и глотании. [85, 125].

М. Li в 2013 году с соавторами провели селективную реиннервацию 44 пациентам, из которых 38 пациентов получилось деканулировать. У всех пациентов наблюдался левосторонний гемипарез диафрагмы, восстановление амплитуды движения в течении года составило от 40% – 82% объема [126].

J. Marie с соавторами в 2014 году сообщили о клинических результатах лечения 25 пациентов после двусторонней селективной реиннервации с последующим наблюдением более 1 года. Из них 22 пациента были деканулированы, 3-м пациентам потребовался один из видов статического варианта хирургического лечения. Отведение голосовой складки во время вдоха наблюдалось у 13 из 25 пациентов, и 2-х голосовых складок у 7 из 25 пациентов [125].

В 2017 г. W.Song с соавторами сравнивал эффективность селективной реиннервации и лазерной аритеноидэктомии. Декануляция в группе, где выполнялась реиннервация составила 88,5% (52 пациента), в группе, где делали

аритеноидэктомии 81,5% (65 пациентов), при этом в группе реиннервируемых пациентов голос оставался на дооперационном уровне [148].

Реиннервация хоть и является перспективным методом лечения, но в связи со сложностью операции, отсутствием точного прогнозируемого результата, малого количества опубликованных отдаленных результатов, требует дальнейших клинических исследований.

Другим динамическим способом лечения ХПСГ является функциональная электростимуляция задней перстнечерпаловидной мышцы, предложенная D.L. Zealear в 1977 году. На данный момент идет разработка двух подходов к электростимуляции, имеющих между собой отличия [103].

В 2013 году А.Н. Mueller с соавторами для стимуляции мышц гортани предложил использовать миниатюрный биполярный электрод со спиральным наконечником, разрабатываемый совместно с MED-EL. В 2016 г. были проведены клинические испытания на людях, страдающих ХПСГ. Установка данного электрода в заднюю перстнечерпаловидную мышцу осуществлялась через щитовидный хрящ с помощью полый иглы. Электроды подкожно выводили на верхнюю часть грудины с приемной катушкой, внешний процессор с помощью магнита прикреплялся к катушке. По результатам из 9 пациентов имплантация прошла успешно у 8. По окончании 1 года наблюдения у всех пациентов наблюдалось улучшение дыхания, голос не ухудшился, проблем с глотанием не было. Все трахеостомированные пациенты были деканулированы. Из минусов можно отметить риски непреднамеренного отсоединения процессора, миграции электрода, что требует ревизионных вмешательств [114, 151].

D.L. Zealear с соавторами в 2020 г. протестирован 8 канальный электрод Infinity™ DBS, который используется для стимуляции мозга, для двусторонней стимуляции задних перстнечерпаловидных мышц. Электрод устанавливался открытым способом в карман между перстневидным хрящом и задней перстнечерпаловидной мышцей с двух сторон с расположением имплантируемого генератора импульсов под трапециевидной мышцей. Настройки генератора происходят через кожу с помощью беспроводной связи. Экспериментальная

работа на животных показала, что двусторонняя стимуляция восстанавливает толерантность к физическим нагрузкам до нормы, что не наблюдается при односторонней стимуляции. К недостаткам данного метода можно отнести необходимость разреза кожи для замены генератора с электропитанием [103, 151].

В настоящее время ведутся работы по использованию генных и стволовых клеточных технологий при лечении ХПСГ для улучшения регенерации мышечной и нервной ткани. На данный момент все исследования проводимые на животных дают положительные результаты, однако требуется дальнейшее проведение исследовательской работы [103].

В исследовании К. Titulaer с соавторами, опубликованном в 2022 году, был проведен систематический анализ литературы за период с 1908 по 2020 год с целью оценки частоты деканюляции и количества ревизионных вмешательств после хирургического лечения хронического паралитического стеноза гортани. Сравнительный анализ включал различные хирургические методы, такие как тотальная и субтотальная аритеноидэктомия, наружная аритеноидэктомия с шовной латерафиксацией и без нее, задняя хордэктомия и методики реиннервации. Согласно результатам обзора эффективность деканюляции при применении всех резекционных техник составила от 87 % до 100 %. В то же время, при использовании методик реиннервации данный показатель был ниже и составлял 75 %, что может свидетельствовать о меньшей клинической результативности данного подхода в восстановлении дыхательной функции у пациентов с ХПСГ. Тем не менее, полученные результаты требуют осторожной интерпретации ввиду высокой вероятности систематической ошибки публикации. Это может быть обусловлено редкостью клинического состояния, недостаточным числом крупных проспективных исследований, а также преобладанием ретроспективных работ, что ограничивает степень достоверности сделанных выводов [145].

Дополняя указанные результаты, R. Almeida с соавторами в 2023 году провел собственное сравнительное исследование тех же хирургических подходов, направленных на лечение ХПСГ. Анализ показал, что ни один из рассмотренных методов не продемонстрировал значимых преимуществ в отношении

дыхательных или голосовых функций по сравнению с другими. Таким образом, авторы пришли к выводу, что выбор объема и методики оперативного вмешательства должен осуществляться индивидуально, с опорой на клинический опыт лечащего хирурга и особенности конкретного пациента, поскольку универсального оптимального метода, обеспечивающего наилучшие функциональные исходы, в настоящее время не существует [140].

Резюме. Таким образом, вопрос оптимального выбора хирургического подхода и техники наиболее эффективного и безопасного оперативного вмешательства в лечении хронического паралитического стеноза гортани до настоящего времени остается открытым. Продолжается поиск надежных, эффективных методов лечения для каждого конкретного пациента, стараясь свести к минимуму риск отдаленных осложнений, связанных с повторным сужением просвета голосовой щели, при этом сохраняя удовлетворительную голосовую функцию. Внедрение лазерных аппаратов с ранее не используемыми длинами волн в медицинскую практику требует разработку новых подходов для каждого оперативного вмешательства с подбором эффективных и щадящих режимов лазерного воздействия. Несмотря на перспективность динамических методов вмешательства, предполагающих снижение, а возможно, и полное исключение необходимости в резекционных техниках, на сегодняшний день они находятся на этапе научной разработки и раннего клинического внедрения. Сроки их широкого распространения и доступности для большинства пациентов пока остаются неопределенными. Все это свидетельствует о том, что необходимо дальнейшее изучение и совершенствование наиболее часто выполняемых на сегодняшний день методов лечения ХПСГ с использованием лазерных систем.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследовательская работа выполнена в период с 2021 по 2024 г. на базе Федерального государственного бюджетного учреждения «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи» Министерства здравоохранения Российской Федерации по следующему дизайну:

1. Экспериментальный этап – исследование различных импульсных режимов полупроводниковых хирургических лазеров на биологических моделях гортани с последующим гистологическим исследованием.
2. Клинический этап – проспективное исследование с 2021 по 2024 гг. (58 случаев) (рисунок 1).

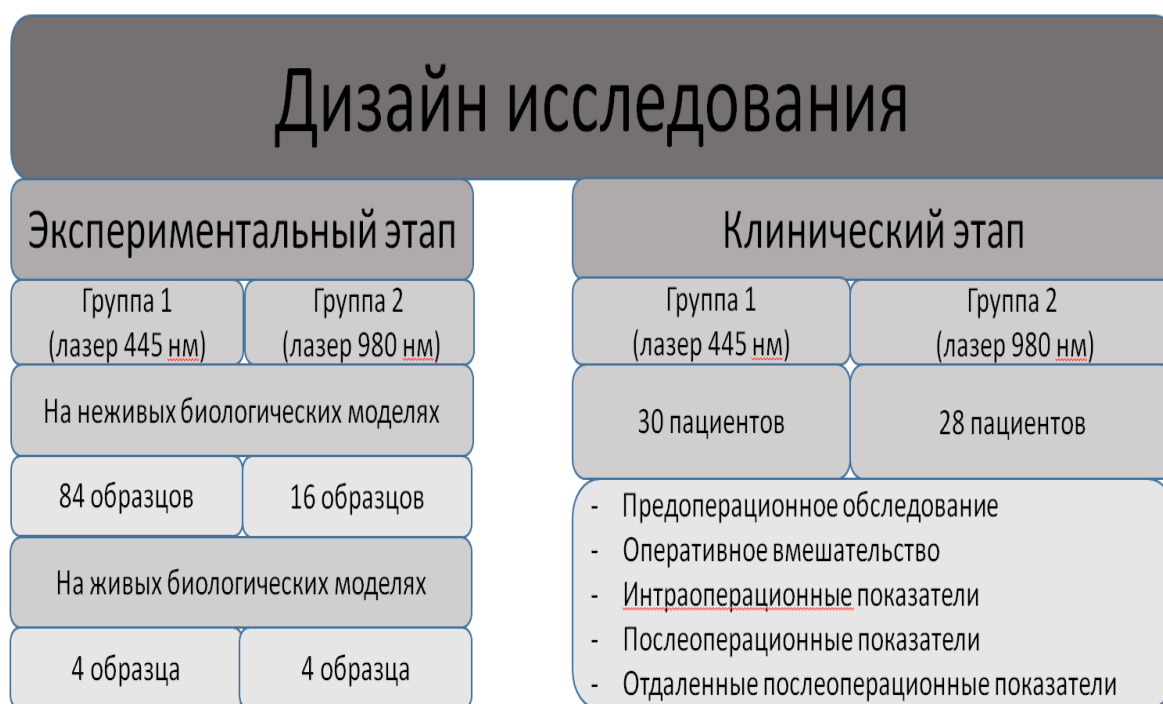


Рисунок 1 – Дизайн проводимого исследования

2.1 Материалы и методы экспериментальной части исследования

Экспериментальная работа проводилась на базе Санкт-Петербургского научно-исследовательского института уха, горла, носа и речи. Гистологическая

часть исследования выполнялась в патологоанатомическом отделении ООО «МОРФОЛАБ».

Проведение исследования было одобрено Этическим комитетом ФГБУ «СПб НИИ ЛОР» Минздрава России (протокол № 1 от 20.01.2023).

2.1.1 Биологическая модель

Многослойное строение голосовой складки является уникальной особенностью человека и не встречается у других животных [65].

В качестве экспериментальной модели использовались ткани, максимально приближенные по морфологическим характеристикам к гортанным структурам человека, – голосовые складки барана и кролика.

Гортань баранов имеет сходство в своей базовой структуре с гортанью человека, мышцы по типу волокон и составу сопоставимы с человеческими, схожие изменения плотности коллагеновых/эластичных волокон в собственной пластинке слизистой оболочки голосовой складки [51].

Гортань кроликов имеет большое сходство с людьми в отношении микроархитектурных свойств тканей голосовой складки и компонентов внеклеточного матрикса, схожести распределения коллагена и эластина в голосовой складке, что позволяет экстраполировать с большей точностью полученные данные на клиническую практику [65, 80, 152].

Работа с живой биологической моделью проводилась в соответствии с законодательством Российской Федерации: федеральный Закон № 498 «Об ответственном обращении с животными» от 19.12.2018 г., положениями «Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей», ГОСТ 3216-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами», ГОСТ 33215-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур».

2.1.2 Лазерное оборудование

В ходе эксперимента использовались два хирургических полупроводниковых лазера с длиной волн 445 нм и 980 нм.

Лазер с длиной волны 445 нм – TruBlue; A.R.C. Laser Company, Germany с дополнительной установкой FlowControl, которая позволяет подавать гелий в операционное поле.

Лазер с длиной волны 980 нм – АЛПХ-01- «Диолан», НПП ВОЛО, Россия.

После подготовки торца световода перед каждым разрезом измерялась выходная мощность лазера на дистальном конце волокна с помощью измерительной головки (OPHIR 30(150) A-LP1-18, Израиль) и дисплея для отображения информации (OPHIR NOVA II DISPLAY, Израиль). Для каждой длины волны использовались калибровочные настройки в памяти измерителя. При отклонении мощности на выходе торца световода $\geq 5\%$ от заданной производилась новая обработка торца световода.

При использовании обоих лазерных аппаратов использовался световод 400 мкм, фиксировался в специализированной ручке с насадками для доставки волокна к месту воздействия.

2.1.3 Подготовка экспериментального материала

Гортани баранов извлекались после забоя животного в течение одного часа и в охлажденном виде доставлялись в лабораторию. В течение 4 часов после забора материала проводился эксперимент. Температура гортани составляла 24-25 градусов. Перед началом лазерного воздействия в воде 36,6 градусов с поверхности смывались все биологические жидкости (кровь, слизь). После проведения эксперимента производилось выделение мягких тканей для гистологии с фиксацией в 10% нейтральном забуференном формалине в специализированных кейсах (рисунок 2).

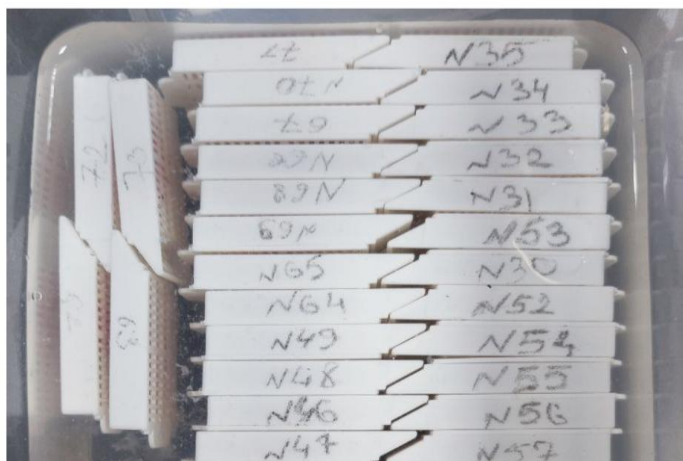


Рисунок 2 – Индивидуальные контейнеры, в которых фиксировался материал исследования

Перед проведением эксперимента на голосовых складках кроликах животных выдерживали в карантине в течение 4 недель. Для обеспечения общей анестезии использовался золетил 15 мг/кг и ксилазил 5 мг/кг в/м. После проведения эксперимента животное выводилось из эксперимента согласно вышеперечисленным документам. Через переднюю стенку шеи осуществлялось выделение гортани, голосовых складок, забор материала для гистологии, фиксация с помощью нейтрального забуференного 10% формалина в специализированных кейсах.

2.1.4 Методика проведения лазерного воздействия

На гортанях баранов при воздействии торец световода располагали в контактно, строго перпендикулярно к поверхности ткани. Время воздействия составляло $3 \pm 0,5$ секунды при скорости движения волокна около 1 мм/с. Для объективной фиксации параметров во время выполнения разреза использовались линейная шкала и секундный таймер. Проводилось по два разреза на каждой голосовой складке, отступя друг от друга более 0,5 см (рисунок 3).

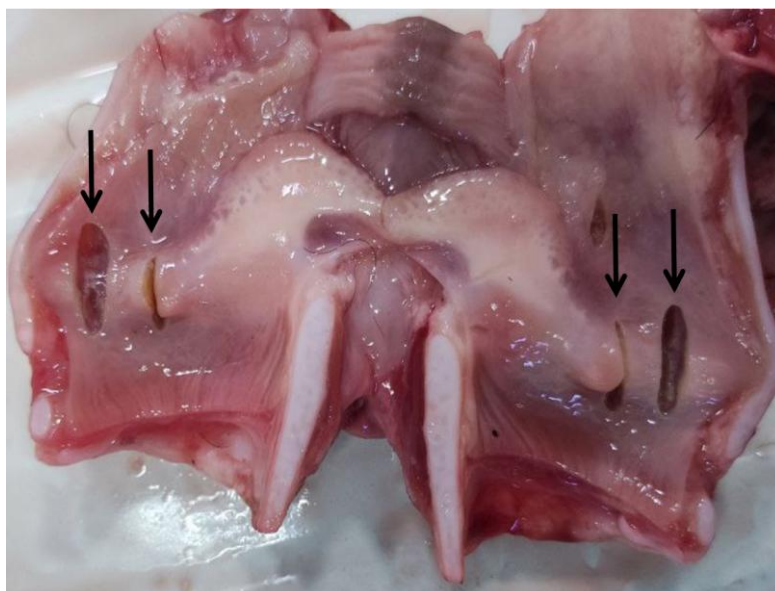


Рисунок 3 – Места выполнения разрезов на голосовых складках баранов (разрезы, указаны черными стрелками)

Эксперимент на кроликах. При помощи прямой ларингоскопии ларингоскопом Kleinsasser Karl Storz 8590 F визуализировался голосовой отдел гортани (рисунок 4).

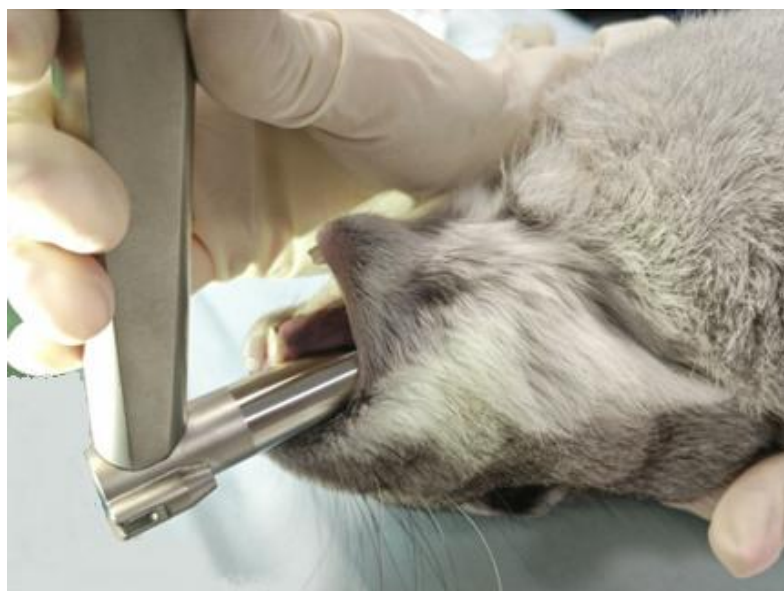
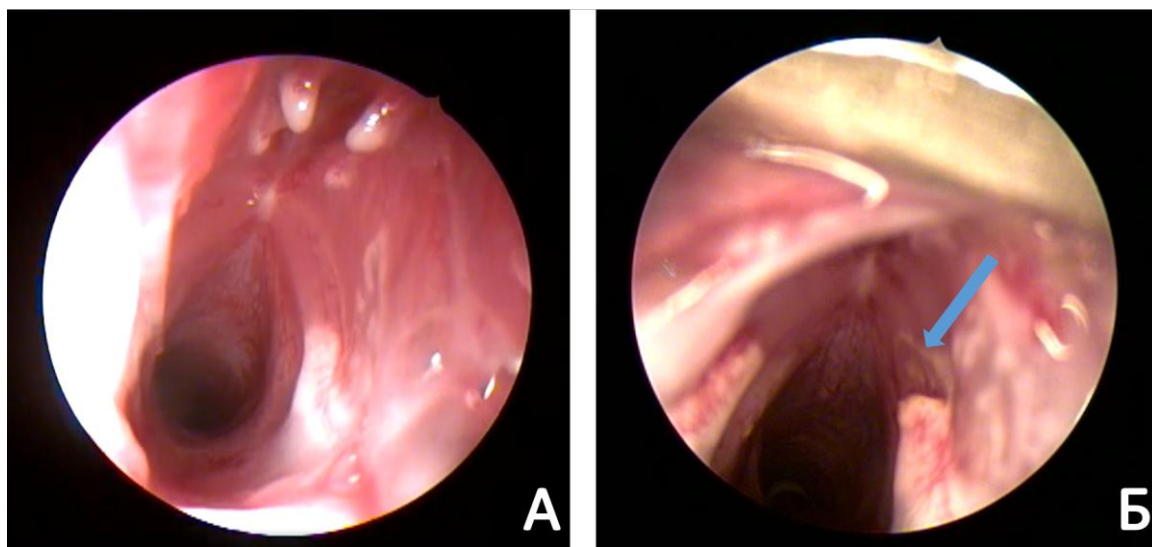


Рисунок 4 – Прямая ларингоскопия лабораторного кролика (вид снаружи)

Разрез производился с установкой торца световода контактно перпендикулярно к верхней поверхности голосовой складки и продвигался к

нижней в течении $3 \pm 0,5$ секунд (рисунок 5). Для видеофиксации использовался Karl Storz TELE PACK X, оптика HOPKINS передне-бокового видения 30 градусов, диаметр 4 мм, длина 18 см.



А – эндоларингиальная картина гортани кролика до выполнения разреза;

Б – эндоларингиальная картина гортани кролика после выполнения разреза правой голосовой складки (разрез, указан синей стрелкой)

Рисунок 5 – Эндоларингиальная картина гортани до и после выполнения разреза

2.1.5 Режимы работы лазера, оценка эффекта его воздействия на биологическую ткань

Целью данного эксперимента было определение оптимальных режимов абляции мягких тканей гортани.

Оценка эффективности импульсных режимов при лазерном воздействии на ткани гортани была проведена в два этапа.

1-й этап – выполнено 100 разрезов на голосовых складках баранов (84 разрезов для 445 нм и 16 разрезов для 980 нм); проанализировано 25 режимов (21 режим для 445 нм, 4 режима для 980 нм).

Для каждого исследуемого режима выполнялось 4 разреза в течении $3 \pm 0,5$ с на голосовых складках барана.

Для оценки эффективности взаимодействия лазерного излучения с длиной волны 980 нм на слизистую оболочку гортани барана использовались режимы:

1. Импульсная мощность – 17 и 24 Вт, длительность импульса – 10 и 30 мс, интервал между импульсами – 50 мс (таблица 1).

На основании данных, представленных в работе коллектива авторов «СПб НИИ ЛОР» [25] был определен оптимальный режим проведения хордаретиноидэктомии контактным методом: импульсная мощность – 24 Вт, длительность импульса – 30 мс, интервал между импульсами – 50 мс. В целях сопоставления и верификации полученных результатов дополнительно были исследованы режимы с импульсной мощностью 24 и 17 Вт, длительностью импульсов 10 и 30 мс и интервалами между импульсами 50 мс. Такой выбор обусловлен тем, что в упомянутой работе показано: при использовании менее мощных режимов зона термического повреждения выражена в большей степени.

Для оценки эффективности взаимодействия лазерного излучения с длиной волны 445 нм на слизистую оболочку гортани барана использовались режимы:

1) без использования обдува гелием: импульсная мощность изменялась от 8 до 10 Вт с шагом 1 Вт, длительность импульса 5 и 10 мс, длительность интервала между импульсами 150 мс;

2) с использованием обдува гелием: импульсная мощность изменялась от 6 до 10 Вт с шагом 1 Вт, длительность импульса 5 и 10 мс, длительность интервала между импульсами 100 и 130 мс (таблица 1).

Режимы для исследования подбирались, опираясь на работы коллектива авторов «СПб НИИ ЛОР» [26].

Таблица 1 – Режимы, оцениваемые в ходе 1-го этапа эксперимента

Биологическая модель – голосовые складки гортани баранов			
Диодный лазер с длиной волны	Импульсная мощность	Длительность импульса	Длительность интервала между импульсами
445 нм	6, 7, 8, 9, 10 Вт	5,10 мс	100, 130, 150 мс
980 нм	17, 24 Вт	10,30 мс	50 мс

2-й этап – на голосовых складках кроликов выполнено 8 разрезов (4 разреза для 445 нм, 4 разреза для 980 нм), оценен 1 режим для 445 нм и 1 режим для 980 нм.

По результатам первого этапа экспериментального исследования для лазеров с длинами волн 445 нм и 980 нм было выбрано по одному режиму для лазера с длиной волны 445 нм и 980 нм, обеспечивающие максимальную площадь абляции при минимальной выраженности зоны термического повреждения.

Для лазера с длиной волны 445 нм: импульсная мощность 10 Вт, длительность импульса 10 мс, длительность интервала между импульсами 100 мс.

Для лазера с длиной волны 980 нм: импульсная мощность 24 Вт, длительность импульса 30 мс, длительность интервала между импульсами 50 мс (таблица 2).

Таблица 2 – Режимы, оцениваемые в ходе 2-го этапа эксперимента

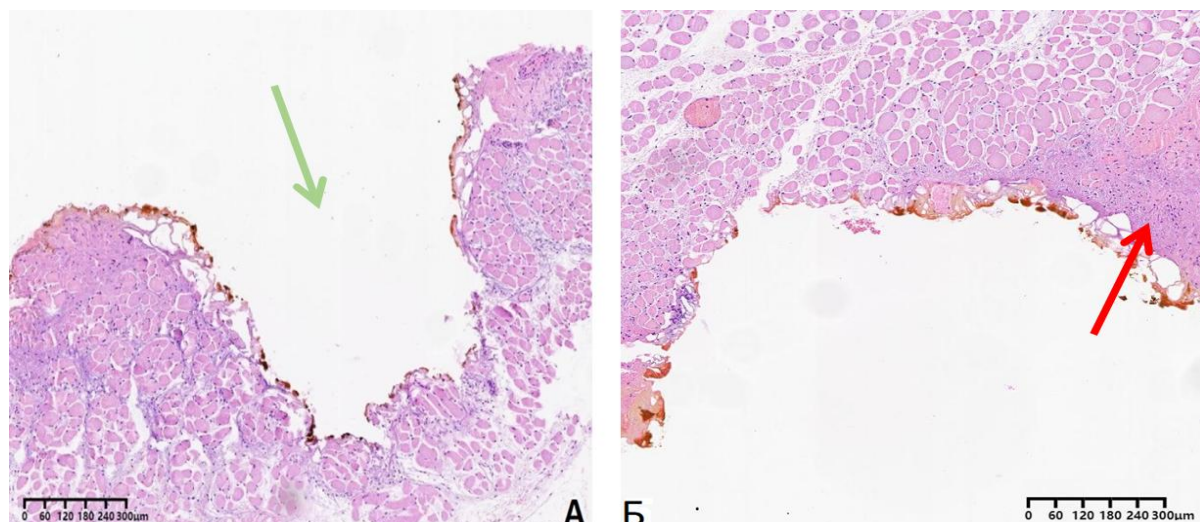
Биологическая модель – голосовые складки лабораторного кролика			
Диодный лазер с длиной волны	Импульсная мощность	Длительность импульса	Длительность интервала между импульсами
445 нм	10 Вт	10 мс	100 мс
980 нм	24 Вт	30 мс	50 мс

В ходе гистологического исследования проводилась микроскопия срезов слизистой оболочки голосовой складки, при этом оценивались:

- зона абляции (длина, глубина) – зона испарение ткани с образованием полости разреза (рисунок 6 А);
- зона термических повреждений – полоса измененной ткани без сохранения клеточной структуры вокруг полости разреза (рисунок 6 Б);
- рассчитывался коэффициент эффективности разреза (k).

Обезвоживание образцов и их последующее заливание парафином выполняли по унифицированному протоколу с применением автоматического гистологического процессора Donatello (DiaPath, Италия) в готовом реагенте

IsoPREP (Биовитрум, Россия) и парафиновой массе HISTOMIX (Биовитрум, Россия). Срезы толщиной 2–3 мкм изготавливали на ротационном микротоме НМ 325 (Thermo, США), после чего проводили стандартные этапы депарафинизации, дегидратации и гистологического окрашивания гематоксилином и эозином по общепринятой методике в соответствии с инструкциями производителя (Биовитрум, Россия).



А – зеленая стрелка – зона абляции; Б – красная стрелка – зона термического повреждения

Рисунок 6 – Микропрепараты голосовых складок кролика после воздействия лазера 445 нм, мощность 10 Вт, длительность импульса 10 мс, длительность интервала между импульсами 100 мс (окраска гематоксилин – эозином)

Микроскопическое исследование проведено на микроскопе AXIO LAB.A1 (Carl Zeiss) при ув. x40, x100, x200, x400. Сканирование гистологических препаратов проведено на сканере Pannoramic MIDI с созданием архива изображений. Морфометрические исследования проводились с использованием автоматизированного программного обеспечения Pannoramic Viewer Version 1.15.4. Для каждой исследуемой области выполняли серию измерений в шести различных точках, после чего рассчитывали усредненный показатель площади и соответствующее стандартное отклонение.

Для каждого режима рассчитывался коэффициент эффективности разреза (k), который вычислялся по формуле:

$$k = \frac{Sp}{(Sa+St) \times Sd}, \quad (1)$$

где Sp – средняя площадь физического повреждения. $Sp = Sa \times Sd$;

Sa – средняя глубина абляции;

St – средние термическое повреждение;

Sd – средняя длина разреза.

Коэффициент эффективности разреза считался положительным, если был больше 0,6, если меньше 0,6, то отрицательным. Максимально эффективный разрез будет равен 1,0, самый минимально приемлемый 0,6, т.к. при коэффициенте менее 0,6 термическое повреждение приближается к 50%. Коэффициент эффективности разреза был предложен Hanke A. в 2021 г. [124], был модифицирован в соответствии с требованиями диссертационного исследования.

2.2 Материалы и методы клинической части исследования

Клиническая часть работы основана на результатах хирургического лечения 58 взрослых пациентов с ХПСГ, проходившие лечение с 2018 г. по 2024 г. на базе Федерального государственного бюджетного учреждения «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи» Министерства здравоохранения Российской Федерации. Произведено проспективное исследование с 2021 по 2024 гг. (58 случаев).

Все пациенты с помощью генератора случайных чисел были разделены на две группы, где:

I группа – пациенты, . Проанализированы 30 проспективных наблюдений.

II группа – пациенты, которым выполнялось хирургическое лечение с применением полупроводникового лазера с длиной волны 980 нм. Проанализированы 28 проспективных наблюдений.

Критериями включения являлись: совершеннолетие, готовность пациента к участию с подписанием информированного согласия, подтвержденный диагноз ХПСГ.

Критерии исключения: возраст до 18 лет, отказ от участия, вовлеченность в другие клинические исследования, наличие сопутствующих заболеваний в стадии обострения или декомпенсации, являющихся противопоказанием к общей анестезии. Кроме того, из исследования были исключены пациенты с хроническим рубцовым стенозом гортани, травматическими повреждениями, рецидивирующим папилломатозом, доброкачественными и злокачественными новообразованиями гортани, а также с системными аутоиммунными заболеваниями. В исследование не были включены пациенты, у которых в анамнезе было оперативное вмешательство на гортани по поводу ХПСГ. Трахеостомированные пациенты, неспособные выполнить исследование функции внешнего дыхания с удаленной трахеостомической трубкой, также не вошли в данное исследование.

В процессе госпитализации и на протяжении послеоперационного этапа всем пациентам проводились контрольные обследования в соответствии с графиком, установленным протоколом исследования. Длительность последующего наблюдения за участниками составила 12 месяцев.

2.2.1 Клиническая характеристика больных, участвующих в исследовании

При поступлении основная жалоба пациентов заключалась в наличии одышки (затрудненного дыхания), возникавшей при минимальной физической активности либо в состоянии покоя, а также в ухудшении качества голосовой функции.

Средний возраст пациентов в первой группе составил – $54,2 \pm 12,7$ лет, во второй группе – $56,2 \pm 14,5$ лет. Среди них женщин – 54 (93,1 %), мужчин – 4 (6,9%). Канюленосителей до операции было: в первой группе – 12 (40%), во второй группе – 11 (39,3%) пациентов.

По анализу историй болезни причинами ХПСГ являлись:

1. Оперативное вмешательство на щитовидной железе – 52 пациента (89,7%):
 - доброкачественные новообразования щитовидной железы – 35 пациентов (60,4%): из них в 1 группе – 18 пациентов (60%); во 2 группе – 17 пациентов (60,7%);
 - злокачественные новообразования щитовидной железы – 17 пациентов (29,3%): из них в 1 группе – 9 пациентов (30%); во 2 группе – 10 пациентов (35,7%).
2. Травмы головы и шеи – 4 пациента (6,9 %): из них в 1 группе – 2 пациента (6,6%), во 2 группе – 2 пациента (7,1%).
3. Вирусная инфекция – 1 (1,7%) пациент в первой группе.
4. Длительная интубация – 1 (1,7%) пациент во второй группе.

Продолжительность заболевания до поступления в стационар составляла в среднем $3 \pm 1,5$ года.

Распространенность сопутствующих заболеваний среди пациентов с ХПСГ в рамках данного исследования:

- вторичный гипотиреоз – 52 пациента (89,1%);
- ишемическая болезнь сердца – 20 пациентов (34,5%);
- бронхиальная астма – 2 пациента (3,5%);
- хроническая обструктивная болезнь легких – 4 пациента (6,9%);
- сахарный диабет 2 типа – 7 пациентов (12,1%);
- гастроэзофагиальная рефлюксная болезнь – 20 пациентов (34,5%);
- ожирение 1 ст. – 15-ть пациентов (25,9%);
- ожирение 2 ст. – 4-е пациента (6,9%).

2.2.2 Методы обследования пациентов

Клиническое обследование проводилось в четыре этапа:

- 1 этап: предоперационный (за сутки до хирургического лечения);
- 2 этап: интраоперационный (во время оперативного лечения);
- 3 этап: ранний послеоперационный (после операции и до выписки из стационара, до 10 суток);
- 4 этап: поздний послеоперационный (осмотры через 1, 3, 12 месяцев после хирургического лечения).

Первый, третий и четвертый этап обследования проводился по схеме:

- сбор жалоб, анамнестических данных, стандартный оториноларингологический осмотр;
- видеоларингоскопия (с использованием ригидного эндоскопа 70 градусов или фиброларингоскопа; на 3-ем этапе проводили на 1, 3 и 10 сутки);
- функциональные: исследование функции внешнего дыхания, акустический анализ голоса (проводили до и через 12 месяцев после оперативного лечения);
- анкетирование – опросник индекс голосовых нарушений – Voice Handicap Index (VHI) -30 и Health Status Survey-36 (SF-36) (проводили до и через 12 месяцев после оперативного лечения).

На догоспитальном этапе, в рамках подготовки к плановому хирургическому вмешательству, всем пациентам выполняли комплекс обязательных обследований, включающий: клинический анализ крови и общий анализ мочи, биохимическое исследование крови (глюкоза, креатинин, билирубин (общий и прямой), АЛТ, АСТ, серологические тесты на ВИЧ, сифилис и вирусные гепатиты В и С, а также коагулограмму (определение активированного частичного тромбопластинового времени, протромбинового индекса и международного нормализованного отношения). Кроме того, проводили электрокардиографию и рентгенографию или компьютерную томографию органов грудной клетки. При наличии соответствующих показаний пациенты

дополнительно направлялись на консультацию к эндокринологу, кардиологу, пульмонологу.

Интраоперационная оценка проводилась по следующим критериям:

- длительность операции – от момента установки ларингоскопа до его удаления;
- наличие кровотечения и способ его остановки (прижатие тупфера к месту кровотечения, коагуляция лазерным излучением или использование монополярного коагулятора).

2.2.2.1 Видеоларингоскопия гортани

Для эндоскопии гортани использовали систему Karl Storz TELE PACK X и жесткие эндоскопы с оптикой HOPKINS, с углом видения 70 градусов, диаметром 4 мм, длиной 18 см. При невозможности осмотра гортани жестким эндоскопом использовался гибкий видеориноларингоскоп CMOS серии 11102CM с монитором 8403ZX.

При осмотре гортани оценивали положение и подвижность голосовых складок, воспалительные изменения по бальной системе [13] (таблица 3), наличие новообразований и рубцовых изменений, просвет голосовой щели.

При наличии у пациента трахеостомы после удаления трахеостомической трубки с помощью фиброларингоскопа и/или ригидного эндоскопа с углом видения 70 градусов оценивалось наличие «козырька» над трахеостомической трубкой, дополнительных зон сужения в подскладковом отделе и трахее до бифуркации. Результаты исследований фиксировались на цифровых носителях для последующего анализа.

Таблица 3 – Балльная оценка видеоэндоскопической картины воспалительных изменений гортани в до- и послеоперационном периодах

Количество баллов	Характеристика изменений
0 баллов	отсутствие воспалительных явлений;
1 балл	незначительные сосудистая инъекция и отек слизистой оболочки гортани, патологическое отделяемое отсутствует
2 балла	умеренные гиперемия и отек слизистой оболочки, скудное слизистое отделяемое
3 балла	выраженные гиперемия и отек слизистой оболочки гортани, обильное слизистое отделяемое.

У всех пациентов, включенных в исследование, определялись лишь медианное и парамедианное положения голосовых складок. При медианном расположении межскладковый просвет в задней трети на вдохе составлял 1–1,5 мм, при парамедианном – 1,5–3 мм. Большинство обследованных имели медианное расположение голосовых складок – данная группа включала 47 пациентов. Парамедианное положение голосовых складок отмечено у 11 пациентов.

2.2.2.2 Функциональные методы исследования дыхательной и голосовой функции

Для исследования функции внешнего дыхания (ФВД) использовался спирограф EasyOne Pro (NDD Medizintechnik GmbH, Германия) (рисунок 7).

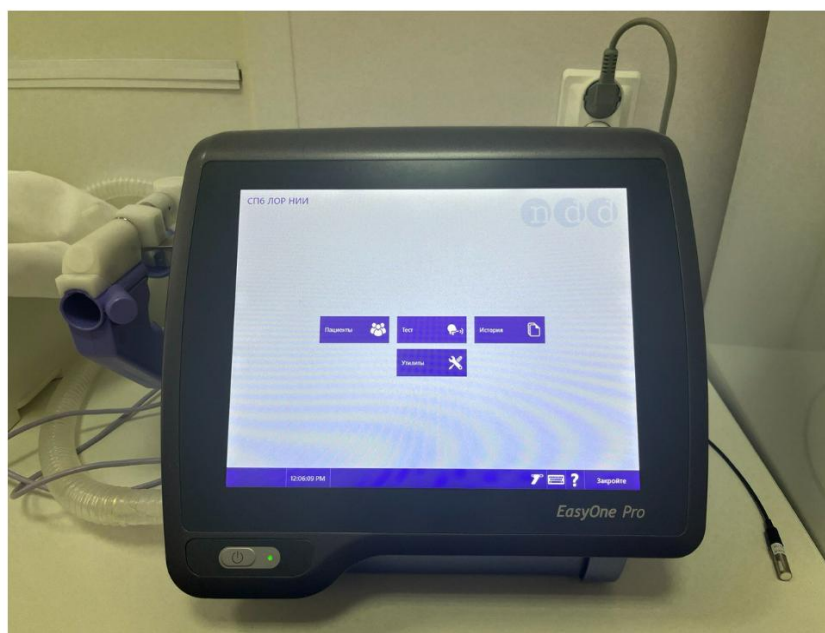


Рисунок 7 – спирограф EasyOne Pro (NDD Medizintechnik GmbH, Германия)

Проведение исследования и интерпретация результатов проводились согласно «Методическим рекомендациям по использованию метода спирометрии МЗ РФ» 2023 года. Спирометрия выполнялась до операции, на 10 сутки после операции и через 1, 3 и 12 месяц после оперативного лечения. Исследование выполнялось 3-и и более раз для получения не менее 3-х сопоставимых маневров по стандарту ATS/ERS (2019).

Исследование трахеостомированных пациентов выполнялось лишь при условии безопасного временного удаления трахеостомической трубки с последующим герметичным закрытием трахеостомического отверстия на период проведения процедуры, которое осуществлялось с использованием окклюзионной повязки, фиксируемой лейкопластырем.

Во время выполнения маневра пациент находился в сидячем положении. Для исключения дыхания через нос использовался носовой зажим. В полость рта, между зубами и плотно закрытыми губами вставлялся и надежно фиксировался одноразовый мундштук, который соединялся с измерительным блоком. Сначала пациент выполнял спокойный глубокий вдох, затем по команде оператора

следовал резкий, максимально полный и быстрый выдох, сразу после этого снова максимально глубокий и быстрый вдох.

В работе сравнивались показатели:

- $ОФВ_1$, отношение $ОФВ_1$ к ФЖЕЛ ($ОФВ_1/ФЖЕЛ$), ФЖЕЛ, которые использовались для оценки фиксации наличия обструктивных нарушений перед оперативным лечением и в динамике после него для оценки эффективности лечения.

- индекс диспропорции выдоха (ИДВ) и соотношение $МОС_{50\text{выд}}/МОС_{50\text{вд}}$, которые оценивались для определения чувствительности и специфичности данных индексов.

Для уточнения нарушений со стороны нижних дыхательных путей всем пациентам проводилось исследование диффузионной способности легких по монооксиду углерода (DL_{CO}) методом однократного вдоха с задержкой дыхания. DL_{CO} – это показатель способности газа перемещаться из альвеол через альвеолярный эпителий и эндотелий капилляров к эритроцитам. Исследование проводилось согласно стандартам ERS/ATS 2017 года [48]. Также для уточнения вентиляционной функции легких и оценки равномерности вентиляции использовался метод вымывания азота при множественном дыхании, определяющий функциональную остаточную функцию легких (ФОЕ), т.е. объем газа, находящегося в вентилируемых участках легких при спокойном дыхании. Исследование проводилось согласно рекомендациям Европейского респираторного общества 2013 [128]. Пациенты с показателями, сниженными относительно нормативных значений, направлялись на обследование и лечение к врачу-пульмонологу. После установления диагноза и проведения необходимой терапии они повторно приглашались для выполнения оперативного вмешательства.

Описание спирограмм производилось врачом-специалистом по функциональной диагностике. Интерпретация спирометрических показателей проводилась с использованием систем должных величин по GLI-2012.

Исследование голосовой функции проводилось методом акустического анализа голоса с помощью компьютеризированной речевой лаборатории (CSL 4150B, программный обеспечением Multi-Dimensional Voice Program, KayPentax, USA). Выполнение исследования производилось в акустически приемлемых условиях в соответствии с соблюдением рекомендаций Союза Европейских Фониатров. Для оценки влияния хирургического лечения на голосовую функцию оценивались показатели: время максимальной фонации (ВМФ), частота основного тона (ЧОТ), нестабильность голоса по частоте (Jitter, %) и амплитуде (Shimmer, %), соотношение шумовых и гармоничных компонентов (NHR). Время максимальной фонации в среднем составляет от 15-25 с. ЧОТ у мужчин находится в пределах 85 до 200 Гц, у женщин от 160 до 349 Гц. Показатель Jitter при отсутствии нарушений голоса не должен превышать 1%, Shimmer в норме не должен превышать 7%, NHR значения не должно превышать 0,190 [38, 43, 45].

2.2.2.3 Анкетирование

Для анализа динамики голосовой функции пациентам предлагалось заполнить опросник Voice Handicap Index-30 (VHI-30), включающий 30 вопросов. Данный инструмент предназначен для оценки влияния дисфонии на различные сферы жизни – эмоциональную, физическую и функциональную. Самооценка выраженности нарушений проводилась по пятибалльной шкале (от 0 до 4), где 0 соответствовал отсутствию симптомов («никогда»), а 4 – их постоянному наличию («всегда»). По сумме баллов устанавливалась степень влияния дисфонии: до 30 баллов – легкая, 31–60 баллов – умеренная, более 60 баллов – тяжелая. Минимальное значение шкалы составляет 0 баллов, максимальное – 120 [14, 142].

Для оценки качества жизни с учетом физического и психического компонентов здоровья использовался опросник The Short Form (36) Health Survey (SF-36), при котором нормой принято значение 50 ± 10 [132].

2.2.3 Хирургическое лечение

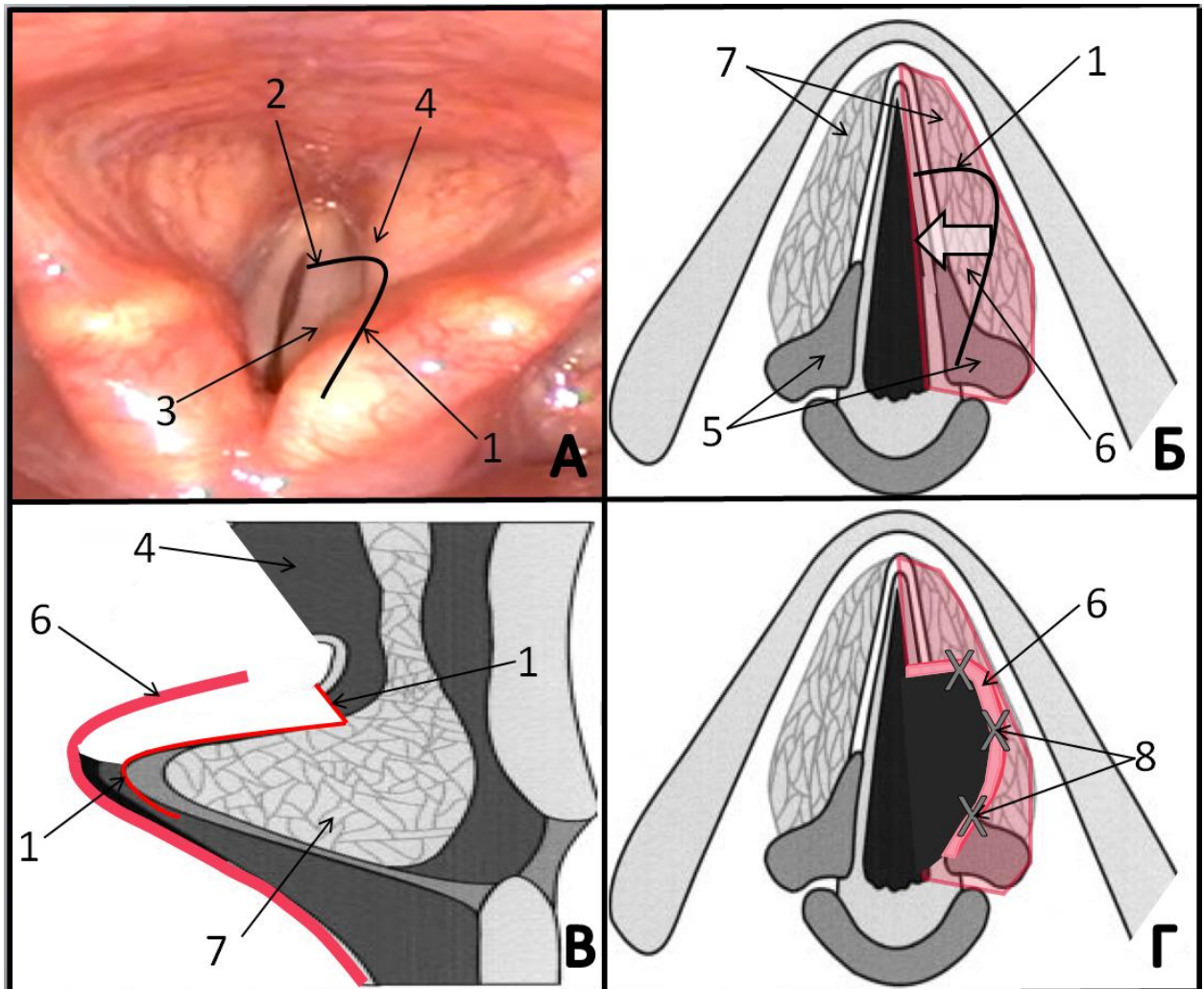
В исследовании для лечения пациентов с хроническим паралитическим стенозом гортани применялись полупроводниковые лазеры с длиной волны 445 нм и 980 нм.

При наличии трахеостомы интраоперационная вентиляция легких во время наркоза осуществлялась через трахеостомическое отверстие с использованием интубационной трубки. В случаях ее отсутствия вентиляция проводилась методом высокочастотной искусственной вентиляции легких с применением катетера, либо посредством струйного JET-ларингоскопа (TwinStream Carl Reiner, Австрия).

В первой группе, где использовался лазер 445 нм, работа проводилась в импульсном режиме со следующими параметрами: мощность импульса 10 Вт, длительность 10 мс, интервал между импульсами 100 мс. Во второй группе, при применении лазера 980 нм, был выбран импульсный режим с мощностью 24 Вт, длительностью импульса 30 мс и интервалом 50 мс.

Методика резекции для обеих групп была одинаковой. Она заключалась в том, что после установки раздвижного ларингоскопа по типу WEERDA и операционного микроскопа в контактном режиме на границе передней и средней трети по верхней поверхности голосовой складки производился горизонтальный разрез, начиная от медиального края и продолжая на вестибулярную складку с последующей резекцией кзади свободного края последней. После удаления части вестибулярной складки полностью визуализируется гортанный желудочек и вся верхняя поверхность голосовой складки. Для сохранения слизистой оболочки горизонтальный разрез продлевался на голосовые складки вниз, как можно латеральнее, продолжая его до верхушки черпаловидного хряща. Затем производилась вапоризация задних двух третей щиточерпаловидной мышцы и голосового отростка. Выделялось тело черпаловидного хряща и выполнялась резекция его передних двух третей эндоскопическими гортанными ножницами. Сохраненная слизистая оболочка укладывалась на раневую поверхность и фиксировалась эндоларингиальными узловыми швами (хромированный кетгут

6/0). Накладывалось от 2-х до 4-х швов (Патент № 2785495 от 08.12.2022).
Методика резекции схематично изображено на рисунке 8.



А – выполнение разреза с помощью лазерного волокна; Б – линия разреза для формирования слизистого лоскута, горизонтальный вид; В – зона отсепаровки слизистого лоскута, сагитальный вид; Г – фиксация слизистого лоскута узловыми швами; 1 – линия разреза; 2 – граница между передней и средней третью голосовой складки; 3 – голосовая складка; 4 – вестибулярная складка; 5 – черпаловидный хрящ; 6 – лоскут слизистой оболочки; 7 – щиточерпаловидная мышца; 8 – узловый шов

Рисунок 8 – Схема проведения хирургического лечения хронического паралитического стеноза гортани

На стационарном лечении пациенты обеих групп находились 10 дней. После хирургического лечения назначалась системная (антибиотикотерапия 7 дней,

глюкокортикостероидами в течении 3-5 дней) и местная ингаляционная терапия (глюкокортикостероидами в течении 14 дней, ингаляции с физиологическим раствором). При болевом синдроме назначались нестероидные противовоспалительные препараты. Больным с гастроэзофагеальной рефлюксной болезнью проводилась антирефлюксная терапия (ингибитор Н⁺-К⁺-АТФ-азы, антацидные препараты).

В течение 2-х недель после операции пациентам рекомендовали соблюдать голосовой покой.

Фонопедическая реабилитация начиналась через 1 месяц после стихания послеоперационных воспалительных изменений.

2.3 Статистическая обработка полученных результатов

Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 2.7.1 (ООО «Статтех», Россия), а также в IBM SPSS Statistics V27. Сравнение двух групп производилось по количественному показателю, имеющему нормальное распределение, при условии равенства дисперсий и выполнялось с помощью t-критерия Стьюдента. Сравнение двух групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, выполнялось с помощью U-критерия Манна-Уитни, критерия Крускала-Уоллиса, критерия Уилкинсона. Для взаимосвязи признаков использовался коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Для оценки диагностической ценности индексов ИДВ и соотношения $MOC_{50\text{выд}}/MOC_{50\text{вд}}$ использовался Receiver Operating Characteristic анализ (ROC-анализ).

Категориальные данные описывались с указанием абсолютных значений и процентных долей. Сравнения качественных показателей выполнялось с помощью критерия хи-квадрат Пирсона (при значениях ожидаемого явления более 10), точного критерия Фишера (при значениях ожидаемого явления менее 10).

Результаты признавались статистически достоверными при значении p -value $< 0,05$.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью экспериментального исследования было определение оптимальных параметров лазерного воздействия на голосовую складку для достижения минимального термического повреждения при максимальном объеме абляции.

3.1 Результаты воздействия лазера на гортани баранов

По полученным данным из экспериментальной работы для лазера с длиной волны 445 нм отмечено, что увеличение длительности импульса до 10 мс и импульсной мощности до 10 Вт, уменьшение интервала между импульсами до 100 мс приводит к наиболее высокому показателю коэффициента k , т.е. увеличивается зона абляции, но при этом не происходит выраженного нарастания зоны термического повреждения (таблицы 4–6).

Таблица 4 – Изменение коэффициента эффективности разреза при воздействии лазерного излучения длиной волны 445 нм на ткани голосовой складки баранов при длительности интервала между импульсами 100мс

Лазер с длиной волны 445 нм				
Длительность интервала между импульсами 100 мс				
Импульсная мощность	Длительность импульса (мс)	Глубина(мкм)/ длина(мкм) абляции	Зона термического повреждения	k
6 Вт	10	242±106/145±25	121±26	0,65
7 Вт	10	445±194/248±30	163±55	0,71
8 Вт	5	148±78/ 364±43	94±43	0,61
	10	334±248/ 425±260	97±40	0,72
9 Вт	5	129±58/ 462±147	54±28	0,71
	10	265±82/ 504±260	88±31	0,75

Продолжение таблицы 4

10 Вт	5	249±137/ 357±121	84±39	0,73
	10	508±245/336±172	126±60	0,79

Из таблицы 4 видно, что коэффициент эффективности разреза (k) во всех случаях был положительным ($k > 0,6$). Только у двух режимов из данной таблицы k равен 0,65, 0,61 при мощности импульса 6 Вт с длительностью импульса 10 мс и при импульсной мощности 8 Вт с длительностью импульса 5 мс. У других режимов k был больше 0,7.

Таблица 5 – Изменение коэффициента эффективности разреза при воздействии лазерного излучения длиной волны 445 нм на ткани голосовой складки баранов при длительности интервала между импульсами 130 мс

Лазер с длиной волны 445 нм				
Длительность интервала между импульсами 130 мс				
Импульсная мощность	Длительность импульса (мс)	Глубина (мкм)/ длина (мкм) абляции	Зона термического повреждения	k
6 Вт	10	254±124/183±37	138±53	0,63
7 Вт	10	265±125/213±78	134±69	0,64
8 Вт	5	57±28/ 497±153	96±77	0,41
	10	206±95/470±84	122±71	0,64
9 Вт	5	78±46/ 630±258	77±43	0,50
	10	191±114/ 590±124	106±46	0,62
10 Вт	5	293±35/ 544±75	84±38	0,60
	10	283±65/ 469±72	102±30	0,64

Из таблицы 5 следует то, что при длительности импульса 5 мс с импульсной мощностью 8,9 Вт k отрицательный ($k < 0,6$). Не один режим из данной таблице не имеет k больше 0,7, что свидетельствует о более низкой эффективности разреза при длительности интервала между импульсами 130 мс.

Таблица 6 – Изменение коэффициента эффективности разреза при воздействии лазерного излучения длиной волны 445 нм на ткани голосовой складки баранов при длительности интервала между импульсами 150 мс

Лазер с длиной волны 445 нм				
Длительность интервала между импульсами 150 мс				
Импульсная мощность	Длительность импульса (мс)	Глубина (мкм)/ длина (мкм) абляции	Зона термического повреждения	k
8 Вт	5	52±22/ 463±53	141±25	0,27
9 Вт	5	99±61/ 395±159	103±32	0,49
	10	275±110/ 524±265	120±34	0,55
10 Вт	5	136±47/ 456±168	123±37	0,52
	10	225±79/ 414±199	185±75	0,55

Из данных таблицы 6 не один режим не является положительным, $k < 0,6$ во всех случаях.

Максимальное значение коэффициента k отмечено при параметрах: импульсная мощность 10 Вт, длительность импульса 10 мс, интервал между импульсами 100 мс ($k = 0,79$). Режим определен как наиболее эффективный. Статистический анализ по критерию Крускала–Уоллиса показал достоверные различия между всеми режимами лазера 445 нм; $p < 0,001$ во всех случаях.

Результаты, полученные при проведении эксперимента с лазером с длиной волны 980 нм, показаны в таблице 7.

Таблица 7 – Коэффициент эффективности разреза при воздействии лазера 980 нм на ткани голосовой складки барана

Лазер с длиной волны 980 нм				
Длительность интервала между импульсами 50 мс				
Импульсная мощность	Длительность импульса (мс)	Глубина (мкм)/ длина (мкм) абляции	Зона термического повреждения	k
17 Вт	10	445±218/ 1477±1002	277±78	0,44
	30	518±341/ 1456±1021	217±104	0,48

Продолжение таблицы 7

24 Вт	10	806±453/ 1399±680	260±82	0,53
	30	673±244/ 1338±1007	193±165	0,66

Анализ данных, представленных в таблице 7, показал, что при использовании лазера с длиной волны 980 нм зона абляции формировалась более выраженной по сравнению с лазером 445 нм. Одновременно отмечалось и более интенсивное увеличение области термического повреждения тканей, что отражалось значением коэффициента k . Среди исследованных режимов работы лазера 980 нм лишь при параметрах: импульсная мощность 24 Вт, длительность импульса 30 мс и интервал между импульсами 50 мс, коэффициент k превышал 0,6, составив 0,66. Данный режим определен как самый эффективный. При расчете критерия U-критерия Манна-Уитни для независимых выборок для групп в таблице 7 Р-значение в каждом случае – равен 0,026, что говорит о статистических значимых различиях между группами.

На рисунке 9 представлена наглядная визуализация распределения исследуемых режимов в зависимости от величины k .

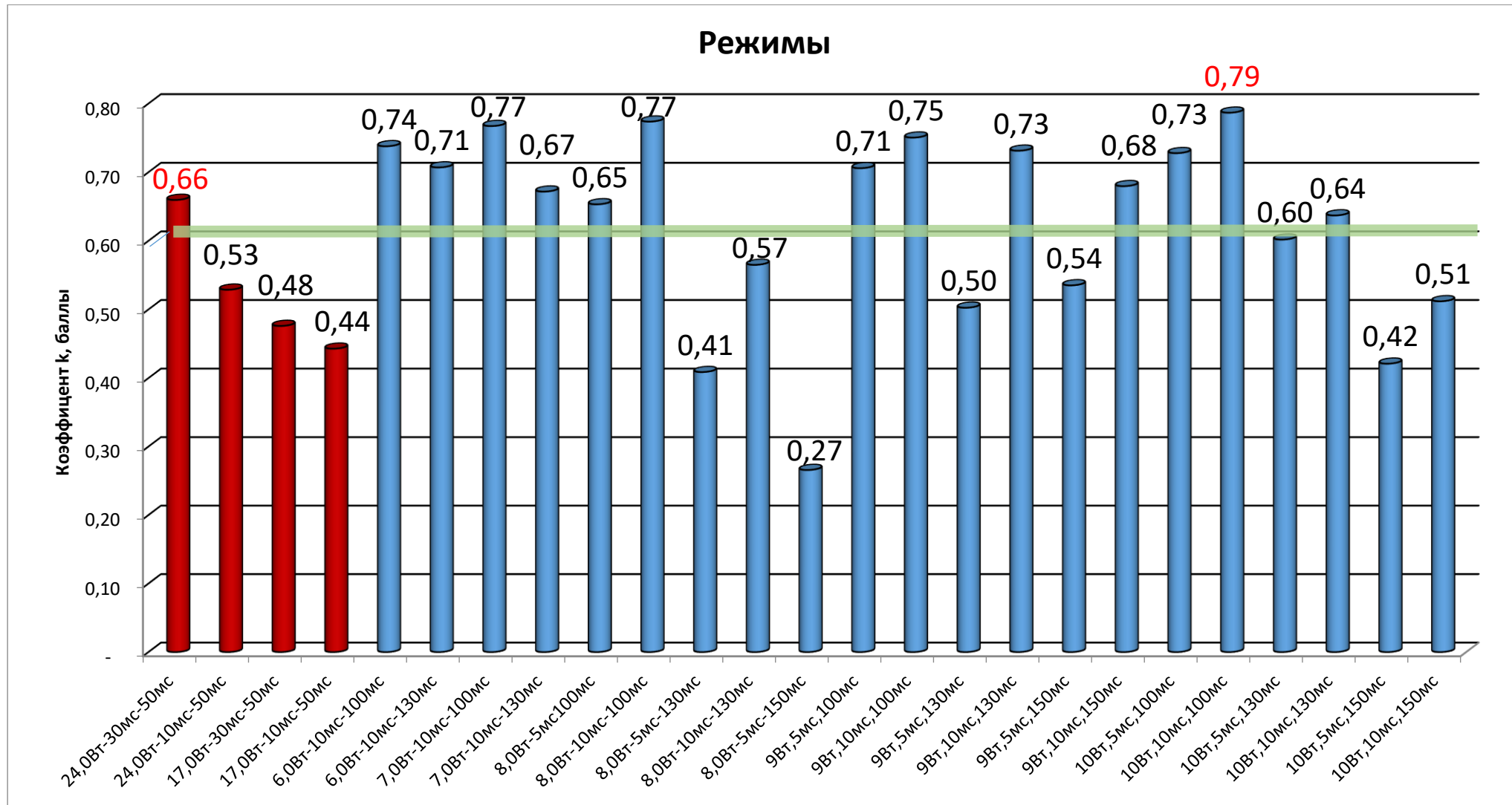


Рисунок 9 – Коэффициент эффективности разреза для лазера с длиной волны 980 нм (красные столбцы) и 445 нм (синие столбцы) при эксперименте на гортанях барана. Зеленая линия – коэффициент $k = 0,6$

3.2 Результаты воздействия лазера на живую биологическую модель

На основании проведенной работы на гортанях барана были выбраны два режима, у которых был самый большой коэффициент k , которые признавались как самые эффективный. Режим для лазера с длиной волны 980 нм – импульсная мощность 24 Вт, длительность импульса 30 мс, длительность интервала между импульсами 50 мс; для лазера с длиной волны 445 нм – импульсная мощность 10 Вт, длительность импульса 10 мс, длительность интервала между импульсами 100 мс.

При сравнении полученных результатов на модели гортани баранов с данными на живой биологической модели было выявлено, что для лазера 445 нм глубина абляции была статистически значимо больше, а зона термического повреждения достоверно меньше, по сравнению с моделью гортани барана ($p < 0,05$, U-критерий Манна-Уитни) (таблица 8).

Таблица 8 – Сравнение результатов изучаемых зон на биологической модели голосовых складок лабораторного кролика и на препаратах гортаней баранов при лазерном воздействии длиной волны 445 нм и 980 нм

Лазер с длиной волны	445 нм		980 нм	
Импульсная мощность	10 Вт		24 Вт	
Длительность импульса	10 мс		30 мс	
Длительность интервала между импульсами	100 мс		50 мс	
Экспериментальная модель	Гортань баранов	Гортань кролика	Гортань баранов	Гортань кролика
Глубина/Длина абляции (мкм)	508±245/ 336±172*	397±167/ 1142±240*	673±244/ 1338±1007*	422±132/ 1204±428*
Зона термического повреждения (мкм)	126±60*	88±19*	193±165*	258±87*
k	0,79	0,78	0,66	0,62
Примечание – * различия показателей статистически значимы ($p < 0,05$)				

Для лазера с длиной волны 980 нм в эксперименте на живой биологической модели зона термического повреждения и зона абляции была статистически значимо больше ($p < 0,05$, U-критерий Манна-Уитни) по сравнению с моделью гортани барана (таблица 8).

Коэффициент k в обеих группах существенно не изменился ($p > 0,05$, U-критерия Манна-Уитни), оставаясь $> 0,6$. Это говорит о том, что несмотря на изменения зон в условиях кровоснабжения, соотношение абляции и коагуляции для оптимальных режимов сохраняется на приемлемом уровне (таблица 8).

Полученные результаты показали статистически значимые различия между моделью гортани баранов и живой биологической тканью ($p < 0,05$, U-критерия Манна-Уитни). Это свидетельствует о том, что неживые экспериментальные образцы, вследствие отсутствия кровоснабжения, не могут в полной мере служить адекватной моделью для оценки воздействия гемоглобинотропных лазеров на мягкие ткани гортани, поскольку гемоглобин является их основным хромофором. Тем не менее, подобные модели целесообразно использовать на предварительном этапе – для отбора наиболее перспективных параметров импульсных режимов с последующей их проверкой на живых биологических объектах.

3.3 Обсуждение результатов экспериментального исследования

Свойства лазерного излучения позволяют передавать тепловую энергию в ограниченный участок биоткани, что делает возможным возникновение прецизионной зоны абляции, что и послужило внедрению лазерной аппаратуры в хирургическую практику. У разных спектров излучаемого света взаимодействия с тканью отличаются, все зависит от того какими хромофорами поглощается излучение. Лазер с длиной волны 980 нм и 445 нм являются гемоглобинотропными лазерами, но у лазера с длиной волны 445 нм поглощение кратно больше.

При резекционных методиках очень важны абляционные свойства лазера, а для заживления большую роль имеет объем термического повреждения

окружающих тканей. Очень важно соблюсти баланс между удаленной тканью и тепловым повреждением, что влияет на степень воспалительной реакции после операции, образования избыточной рубцовой ткани, воспалительных гранул и других осложнений, которые приводят к более длительному реабилитационному периоду после хирургического лечения, необходимости повторных оперативных вмешательств.

В рамках эксперимента изучено влияние различных режимов полупроводникового лазерного излучения на ткани с целью определения оптимальных параметров для выполнения резекционных вмешательств. При одинаковой экспозиции на голосовые складки гортани барана лазер с длиной волны 445 нм во всех исследованных режимах вызывал менее выраженное термическое повреждение тканей по сравнению с лазером 980 нм. Зоны абляции при использовании излучения 980 нм во всех случаях имели большие размеры. Для формирования сопоставимой зоны абляции излучению 980 нм за 3 секунды потребовалось 27 Дж энергии (импульсная мощность 24 Вт, длительность импульса 30 мс, интервал между импульсами 50 мс), тогда как излучению 445 нм – 2,73 Дж (импульсная мощность 10 Вт, длительность импульса 10 мс, интервал между импульсами 100 мс). Таким образом, абляционные свойства лазера с длиной волны 445 нм оказались выше по сравнению с лазером 980 нм.

Для количественной оценки соотношения зоны абляции и термического повреждения использовался коэффициент k , отражающий эффективность разреза. Оптимальным считалось значение $k > 0,6$, что соответствует удовлетворительной зоне абляции (не менее 60 %) при минимальной зоне термического повреждения (не более 40 %).

Результаты экспериментальной части исследования показали, что для проведения резекционных вмешательств целесообразно применение следующих режимов лазерного излучения: при длине волны 445 нм – импульсная мощность 6–10 Вт (оптимально 9–10 Вт), длительность импульса 10 мс, интервал между импульсами 100 мс; при длине волны 980 нм – импульсная мощность 24 Вт, длительность импульса 30 мс, интервал между импульсами 50 мс.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ КЛИНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1 Анализ интраоперационных результатов

В данном разделе работы рассматривались следующие параметры: продолжительность хирургического вмешательства, наличие интраоперационного кровотечения, а также потребность в использовании монополярной коагуляции.

4.1.1 Продолжительность оперативного вмешательства

За начало операции принимался момент установки ларингоскопа при трансоральной микроларингоскопии, а окончанием считалось его извлечение.

В первой группе пациентов, где применялся полупроводниковый лазер с длиной волны 445 нм, средняя продолжительность операции составила $95,30 \pm 8,72$ минуты. Во второй группе, где использовался лазер с длиной волны 980 нм, данный показатель был меньше и равнялся $79,37 \pm 8,15$ минуты (рисунок 10).

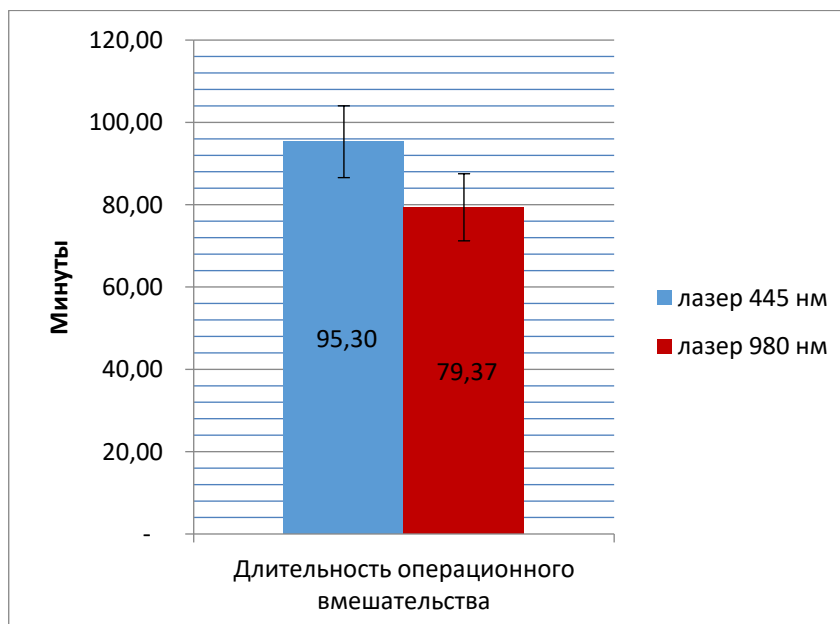


Рисунок 10 – Среднее значение длительности операционного вмешательства в исследуемых группах

Сравнительный анализ показал, что операции с применением лазера 445 нм были в среднем на 15 минут продолжительнее.

При расчете критерия U-критерия Манна-Уитни для независимых выборок данных групп Р-значение в каждом случае – равнялось 0,001, что говорит о статистических значимых различиях между группами.

4.1.2 Интраоперационное кровотечение

Для борьбы с кровотечением использовалось три методики: прижатие тупфера смоченного раствором адреналина, лазерная коагуляция и монополярная коагуляция. Первые два метода рассматривались вместе, так как не требуются смены инструментов и хорошо дополняют друг друга. Монополярная коагуляция считается более эффективным, но и более травматичным способом гемостаза.

В группе 1 (445 нм) развитие кровотечения наблюдалось в 16 случаях (53,3 %), из них в 6 (20%) случаях потребовалось использование монополярной коагуляции.

В группе 2 (980 нм) развитие кровотечения наблюдалось в 18 случаев (60 %), из них в 5 (16,7%) случаях потребовалось использование монополярной коагуляции.

При сопоставлении частоты кровотечений и необходимости применения прижатия тупфера, лазерного излучения или монополярной коагуляции между исследуемыми группами с использованием точного критерия Фишера статистически значимых различий выявлено не было ($p > 0,05$) (таблица 9).

Таблица 9 – Оценка эффективности способов гемостаза в исследуемых группах

Интраоперационные кровотечения		
Методики остановки кровотечения	Группы	
	Лазер 445 нм (Группа 1)	Лазер 980 нм (Группа 2)
Использование тупфера и лазерной коагуляции	10	13

Продолжение таблицы 9

Использование монополярной коагуляции	6	5
Всего	16	18

Отсутствие статистически значимых различий в частоте кровотечений, согласно полученным данным, обусловлено подбором оптимальных режимов оперативного вмешательства, при которых абляционные свойства лазерного излучения выражены максимально, а коагуляционные – минимально. Несмотря на то, что лазер с длиной волны 445 нм характеризуется более высоким коэффициентом поглощения в гемоглобине, по сравнению с длиной волны 980 нм, коагуляции подвергаются преимущественно сосуды мелкого калибра, тогда как более крупные не успевают скоагулироваться, что приводит к их разрыву и развитию кровотечения.

4.2 Оценка послеоперационных результатов

4.2.1 Анализ данных видеоларингоскопического исследования

Оценка воспалительных изменений в гортани проводилась на 1-е, 3-и, 10-е сутки, 1, 3 и 12 месяцев. При их оценке выставались баллы от 0 (отсутствие воспалительных изменений) до 3 (выраженные гиперемия и отек слизистой оболочки гортани, обильное слизистое отделяемое).

На рисунке 11 наглядно показана динамика воспалительных изменений в сравниваемых группах.

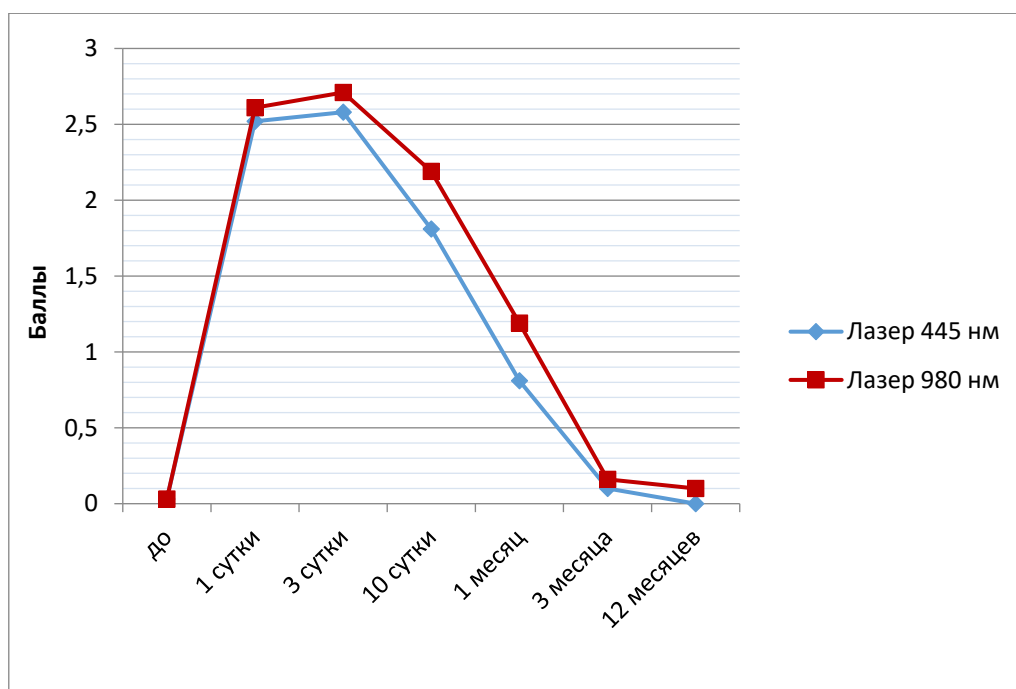


Рисунок 11 – Динамика воспалительных изменений в гортани в течение периода наблюдения

Данные, полученные при оценке двух сравниваемых групп, представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Анализ различий баллов по видеоларингоскопической картины гортани в исследуемых группах

Сроки наблюдений	Среднее значение $\pm$ среднее отклонение	
	Группа 1 (Лазер 445 нм)	Группа 2 (Лазер 980 нм)
1 сутки	2,52 $\pm$ 0,50	2,61 $\pm$ 0,47
3 сутки	2,58 $\pm$ 0,49	2,71 $\pm$ 0,41
10 сутки	1,81 $\pm$ 0,52*	2,19 $\pm$ 0,57*
1 месяц	0,81 $\pm$ 0,52*	1,19 $\pm$ 0,68*
3 месяца	0,10 $\pm$ 0,17	0,16 $\pm$ 0,27
12 месяцев	0,06 $\pm$ 0,12	0,10 $\pm$ 0,17

Примечание – * различия показателей статистически значимы ($p < 0,05$, с использование U-критерия Манна-Уитни).

Из таблицы 10 видно, что в группе 1 (445 нм) статистически значимо различалось количество баллов с группой 2 (980 нм) на 10 суток и 1 месяц после оперативного лечения ($p < 0,05$, рассчитаны с использованием U-критерия Манна-Уитни). В другие дни динамического наблюдения различий между двумя группами не выявлено, в том числе и в отдаленные периоды. Анализ данных может говорить о том, что наиболее вероятной причиной сохранения выраженных воспалительных изменений в гортани является более глубокое термическое повреждение окружающих тканей наносимое лазером с длиной волны 980 нм.

При сравнении разницы выраженности воспалительных изменений внутри каждой из групп на 3 и 7 суток, 7 и 10 суток, 10 суток и 1 месяц, 1 месяц и 3 месяца были получены статистически значимые отличия. В каждом случае значения $p < 0,05$. При сравнении на 1 и 3 суток, 3 месяца и 12 месяцев воспалительных изменений в гортани внутри каждой из групп статистически значимых отличий выявлено не было ($p > 0,05$, значения p рассчитаны с использованием W-критерия Уилкоксона).

Как видно в группе 1 (445 нм) к 1 месяцу после оперативного вмешательства среднее значение меньше 1 балла, это говорит о том, что большинство пациентов для реабилитации голосовой функции могут начинать занятия с фонопедами. В группе 2 (980 нм) к 1 месяцу среднее значение больше 1 балла, следовательно, только небольшое количество пациентов могут начать реабилитацию к концу 1 месяца.

По данным видеоларингоскопии через 12 месяцев после хирургического лечения в контрольный период в обеих группах, средняя величина межскладкового просвета в области задней комиссуры гортани составляла 8–10 мм.

В группе 1 (445 нм) у одного пациента через 10 месяцев после оперативного лечения и деканюляции вновь возникло затруднение дыхания. После осмотра выставлен диагноз хронический отечно-полипозный ларингита 1 степени на неоперированной стороне. После проведения консервативного лечения жалоб на затруднения дыхания не предъявлял.

У другого пациента на фоне несоблюдения голосового режима на 2 день после операции отмечилось ухудшение дыхания. При видеоларингоскопии выявлено несостоятельность швов, было выполнено ревизия раны под ЭТН и повторно наложены швы. В дальнейшем послеоперационный период протекал без особенностей.

В группе 2 (980 нм) два пациента в послеоперационном периоде через 1,5 и 2,5 месяца отметили возобновление затруднения дыхания. При видеоларингоскопии гранулема (рисунок 12) в задней трети голосовой складки на стороне резекции. Назначенное консервативное лечение с выраженным положительным эффектом у одного пациента, у другого – со слабopоложительной динамикой. Выполнено удаление послеоперационной гранулемы с помощью прямой опорной микроларингоскопии с использованием высокочастотной искусственной вентиляции легких.



Рисунок 12 – Послеоперационная гранулема справа через 2,5 месяца после операции

4.2.2 Анализ результатов исследования функции внешнего дыхания

До проведения операции у всех участников обеих групп диагностирована экстраторакальная обструкция.

В группе 1 (445 нм) – ФЖЕЛ – $76,8 \pm 15,6$; ОФВ₁ – $62,9 \pm 14,5\%$; ОФВ₁/ФЖЕЛ – $72,3 \pm 18,3\%$.

В группе 2 (980 нм) – ФЖЕЛ – $75,5 \pm 16,4$; ОФВ₁ – $60,9 \pm 10,6\%$; ОФВ₁/ФЖЕЛ – $68,8 \pm 13,5\%$.

Сравнительный анализ данных, полученных на дооперационном этапе с применением U-критерия Манна–Уитни, не выявил статистически значимых различий между исследуемыми группами по оцениваемым показателям ($p > 0,05$).

Итоговые показатели функции внешнего дыхания через 12 месяцев после оперативного лечения:

В группе 1 (445 нм) – ФЖЕЛ – $90,8 \pm 13,4\%$; ОФВ₁ – $82,9 \pm 11,6\%$; ОФВ₁/ФЖЕЛ – $93,1 \pm 10,5\%$.

В группе 2 (980 нм) – ФЖЕЛ – $91,4 \pm 9,6\%$; ОФВ₁ – $86,9 \pm 8,7\%$; ОФВ₁/ФЖЕЛ – $90,4 \pm 7,5\%$.

При сравнении групп между собой в отдаленный послеоперационный период значимых статистических различий не выявлено ($p > 0,05$).

Сравнительный анализ спирометрических данных, выполненный до и после оперативного вмешательства, показал достоверное повышение оцениваемых параметров в обеих группах ($p < 0,05$) (рисунок 13). У 17 пациентов (8 – в первой группе, 9 – во второй) величина ОФВ₁ составила более 70%, что соответствует легкой степени снижения относительно должных значений. У остальных обследованных (22 пациента в первой группе и 19 – во второй) показатель ОФВ₁ превышал 80%, что расценивается как условная норма. Полученные результаты указывают на наличие компенсации стеноза гортани. Среднее увеличение анализируемых показателей (ОФВ₁, ФЖЕЛ, ОФВ₁/ФЖЕЛ) составило около 15%.

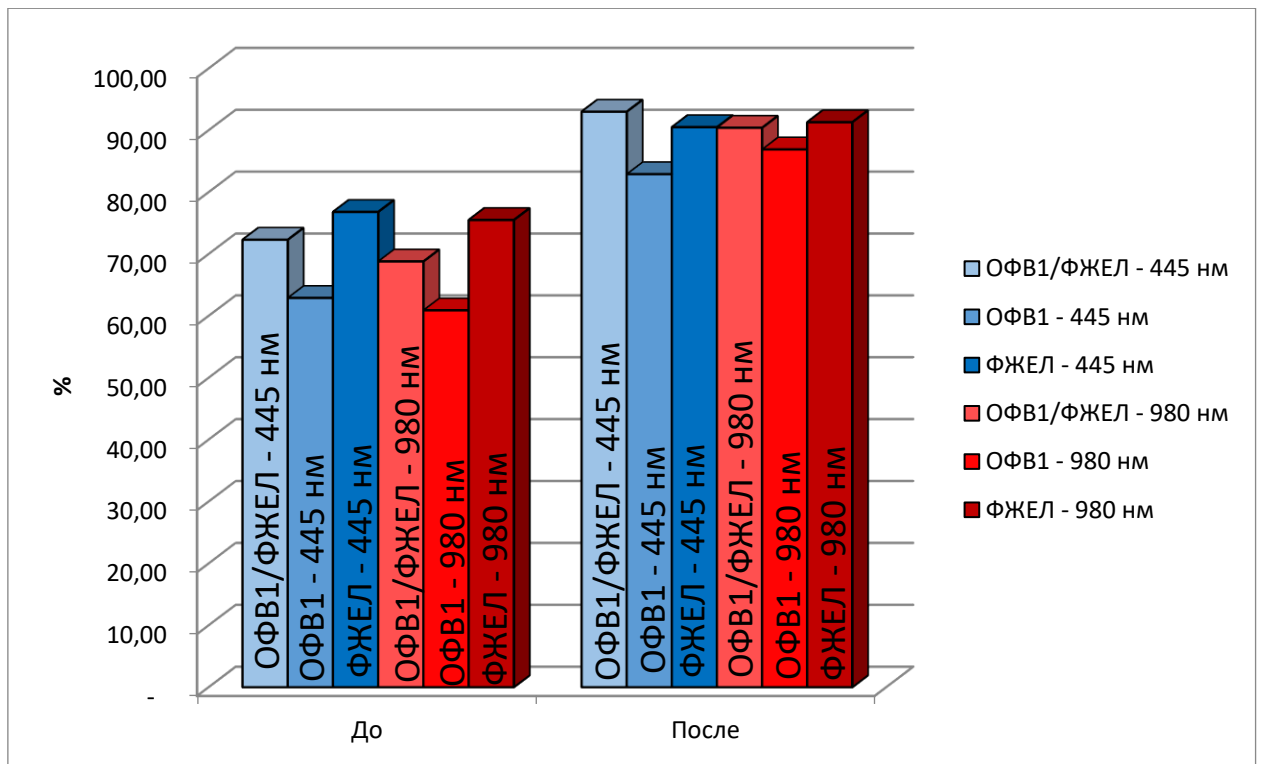


Рисунок 13 – Изменение спирометрических показателей функции внешнего дыхания до и через 12 месяцев после операции

При оценке диагностической ценности индекса ИДВ и соотношения $\text{МОС}_{50\text{выд}}/\text{МОС}_{50\text{вд}}$ использовался ROC-анализ (рисунок 14–15). По данным литературы единых пороговых значений для данных индексов нет. Мы определяли чувствительность, специфичность и точку отсечки (cut-off) для каждого индекса.

Для соотношения $\text{МОС}_{50\text{выд}}/\text{МОС}_{50\text{вд}}$ чувствительность = 83,3; специфичность = 70,0; точка отсечки больше 1,3.

Для ИДВ чувствительность = 94,4; специфичность = 80,0; точка отсечки больше 45,5.

Сравнивая показатели, полученные иностранными авторами выявленная точка отсечки близкая к их результатам. Предложенные индексы удобны, просты и высокочувствительны для выявления экстраторакальной обструкции.

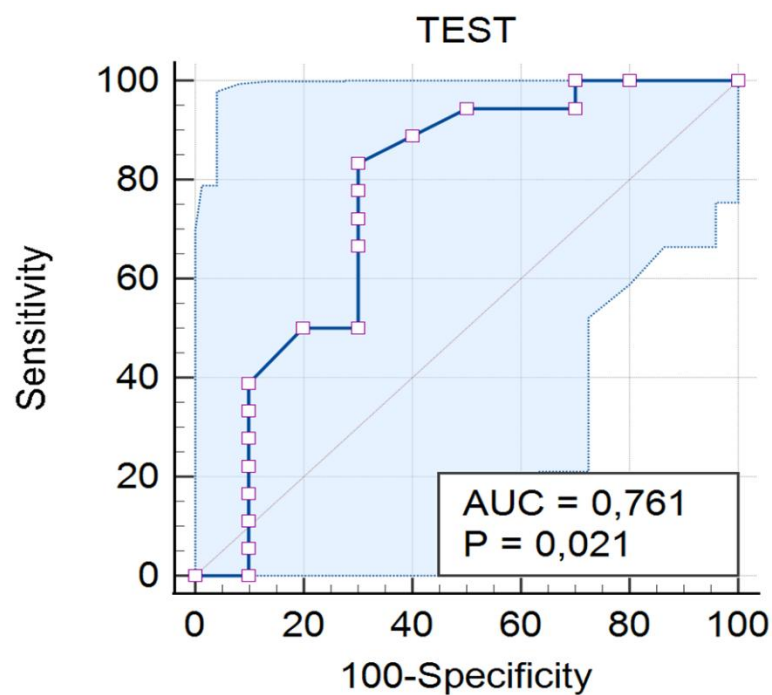


Рисунок 14 – ROC-кривая, характеризующая чувствительность и специфичность

$MOC_{50\text{выд}}/MOC_{50\text{вд}}$

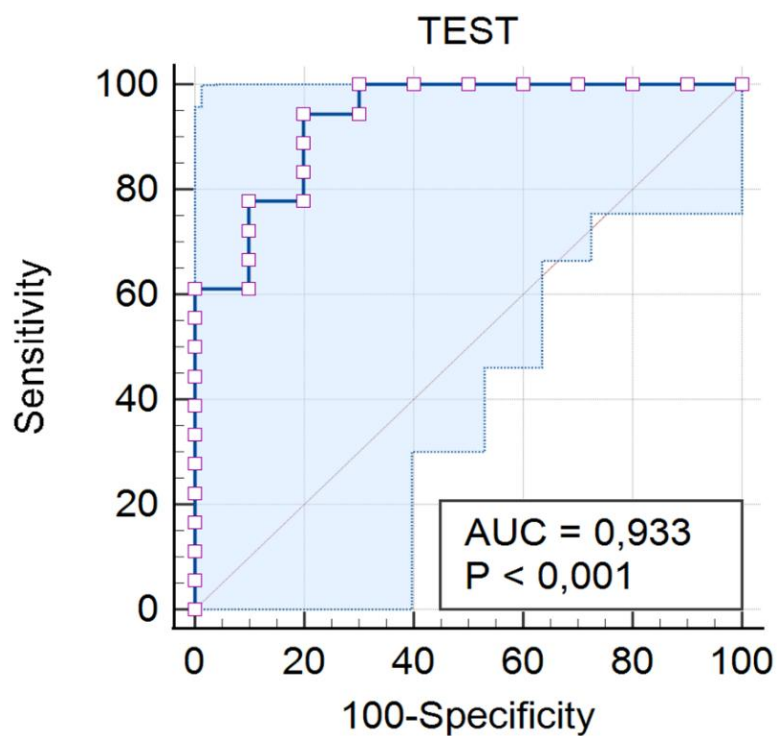


Рисунок 15 – ROC-кривая, характеризующая чувствительность и специфичность

ИДВ

4.2.3 Анализ результатов голосовой функции

При использовании резекционных методик дисфония, как правило, прогрессирует, поэтому сохранение голоса рассматривается как значимый, но не приоритетный фактор при лечении хронического паралитического стеноза гортани. В рамках настоящего исследования удовлетворительным считался результат, при котором удавалось сохранить социально приемлемое качество голоса, достаточное для повседневного общения – в том числе для разговора по телефону, объяснения в общественном транспорте, на рабочем месте и в других бытовых ситуациях.

В группе 1 (445 нм) до начала операции зафиксированы такие значения анализируемых показателей: ВМФ – $7,8 \pm 2,6$ секунды; Jitter – $3,02 \pm 0,96$; Shimmer – $4,5 \pm 1,5$; HNR – $0,17 \pm 0,04$; ЧОТ – $236,2 \pm 56,5$ Гц.

В группе 2 (980 нм) до начала операции получены следующие данные: ВМФ – $7,3 \pm 3,1$ секунды; Jitter – $3,6 \pm 1,2$; Shimmer – $4,31 \pm 1,27$; HNR – $0,16 \pm 0,03$; ЧОТ – $224,2 \pm 58,1$ Гц.

При сравнение групп на дооперационном этапе с использованием U-критерия Манна-Уитни выявило, что статистически значимых различий по оцениваемым значениям между группами не получено ($p > 0,05$).

В раннем послеоперационном периоде у пациентов обеих групп отмечалось достоверное нарастание дисфонии, о чем свидетельствует нарастание показателей Jitter, Shimmer более чем в два раза и снижение показателей NHR ($p < 0,05$ с использованием W-критерия Уилкоксона). Статистически значимых отличий при сравнении обеих групп с использованием U-критерия Манна-Уитни не получено ($p > 0,05$).

В отдаленном периоде в группе 1 (445 нм) у пациентов зафиксированы такие значения исследуемых параметров: ВМФ – $4,1 \pm 2,2$ секунды; Jitter – $5,91 \pm 1,02$; Shimmer – $9,5 \pm 1,7$; HNR – $0,26 \pm 0,05$; ЧОТ – $341,7 \pm 32,5$ Гц.

В группе 2 (980 нм) получены следующие данные: ВМФ – $3,9 \pm 2,9$ секунды; Jitter – $7,68 \pm 1,69$; Shimmer – $14,1 \pm 2,7$; HNR – $0,36 \pm 0,07$; ЧОТ – $347,2 \pm 46,3$ Гц.

При попарном сравнении параметров ВМФ, ЧОТ значимых различий между группами не выявлено ($p > 0,05$ с использованием U-критерия Манна-Уитни), при сравнении параметров Jitter, Shimmer, HNR получены статистически значимые отличия ($p < 0,05$ с использованием U-критерия Манна-Уитни). На представленном графике ниже наглядно продемонстрирована динамика изменений внутри каждой из групп по показателям Jitter, Shimmer (рисунок 16).

В обеих группах при сравнении исследуемых показателей до и после лечения выявлены статистически значимые различия, что свидетельствует об ухудшении голосовой функции после проведенного оперативного вмешательства. В обеих группах был сохранен приемлемый социальный голос.

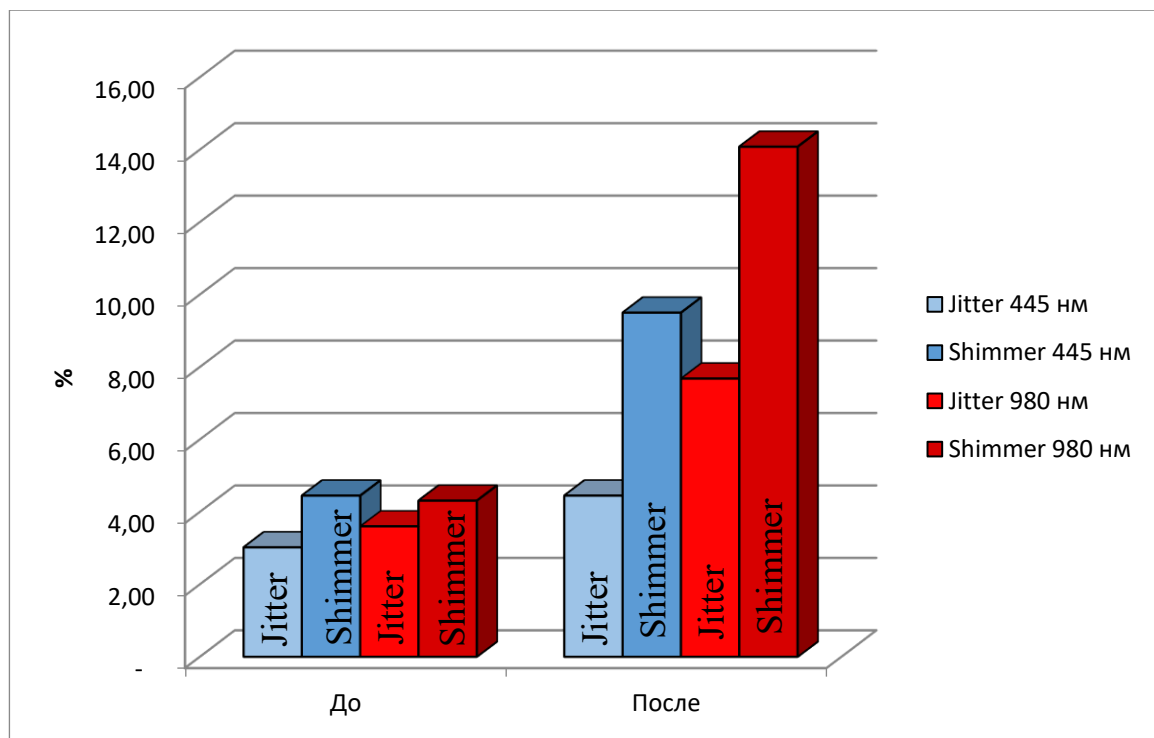


Рисунок 16 – Изменения показателей Jitter и Shimmer (%) по результатам оценки акустического анализа голоса до и в период 12 месяцев после операции пациентов

4.2.4 Анализ результатов анкетирования

4.2.4.1 Субъективная оценка изменения дисфонии у пациентов с помощью анкеты VHI-30

Анализ результатов анкетирования в обеих группах, выполненный до операции и спустя 12 месяцев после нее с применением критерия Уилкоксона (W) выявил статистически значимые различия ($p < 0,05$).

При сравнении обеих групп между собой с использованием U-критерия Манна-Уитни значимых отличий между группа до и после оперативного лечения получено не было ($p > 0,05$) (рисунок 17).

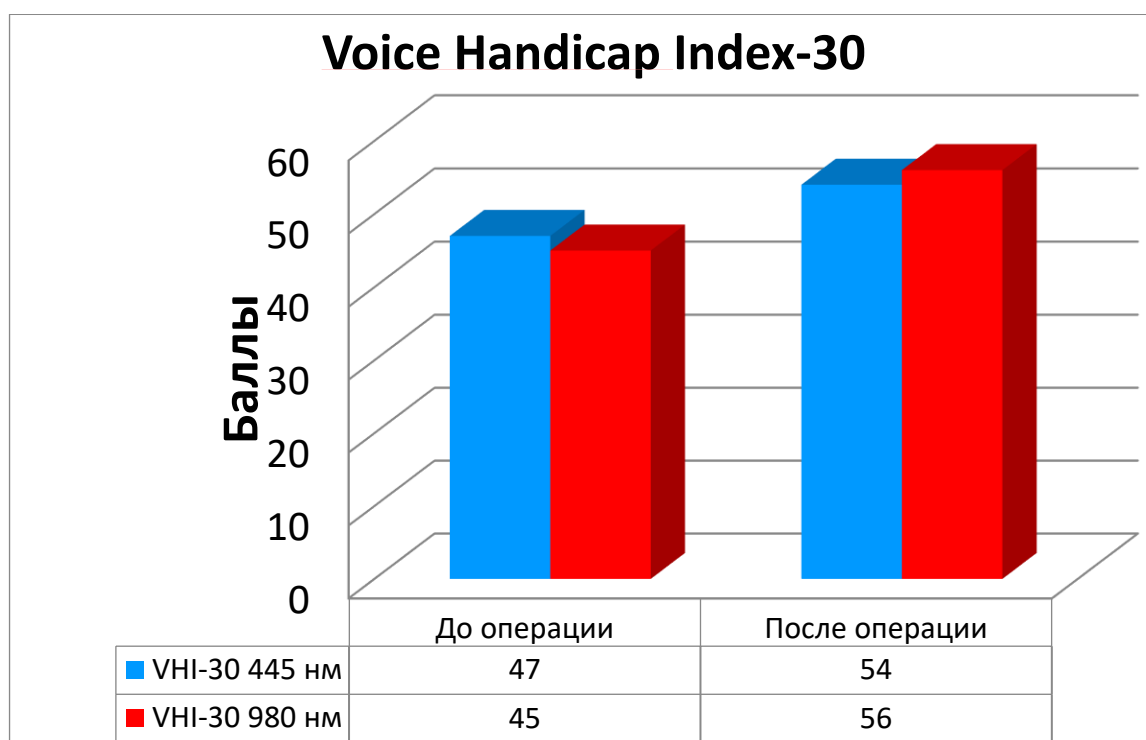


Рисунок 17 – Изменение дисфонии в баллах до и через 12 месяцев после оперативного лечения

В обеих группах через 12 месяцев после оперативного лечения пациенты отмечали ухудшение голоса по анкете VHI-30, но они оставались в пределах

значений характерных для средней степени тяжести нарушения голоса (31-60 баллов).

4.2.4.2 Оценка изменения качества жизни у пациентов с помощью анкеты SF-36

Для анализа динамики качества жизни были обработаны интегральные показатели опросника SF-36, отражающие физический (ФКЗ) и психический (ПКЗ) компоненты здоровья.

В группе 1 (445 нм) до операции ФКЗ – $34,8 \pm 7,1$; ПКЗ – $32,1 \pm 11,2$.

В группе 2 (980 нм) до операции ФКЗ – $35,6 \pm 6,7$; ПКЗ – $33,7 \pm 9,8$.

Отличий между группами до операции выявлено не было ($p > 0,05$ с использованием U-критерия Манна-Уитни).

Итоговые показатели в группе 1 (445 нм) ФКЗ – $48,3 \pm 4,9$; ПКЗ – $50,1 \pm 7,1$; в группе 2 (980 нм) ФКЗ – $46,5 \pm 5,1$; ПКЗ – $49,4 \pm 6,9$ (рисунок 18).

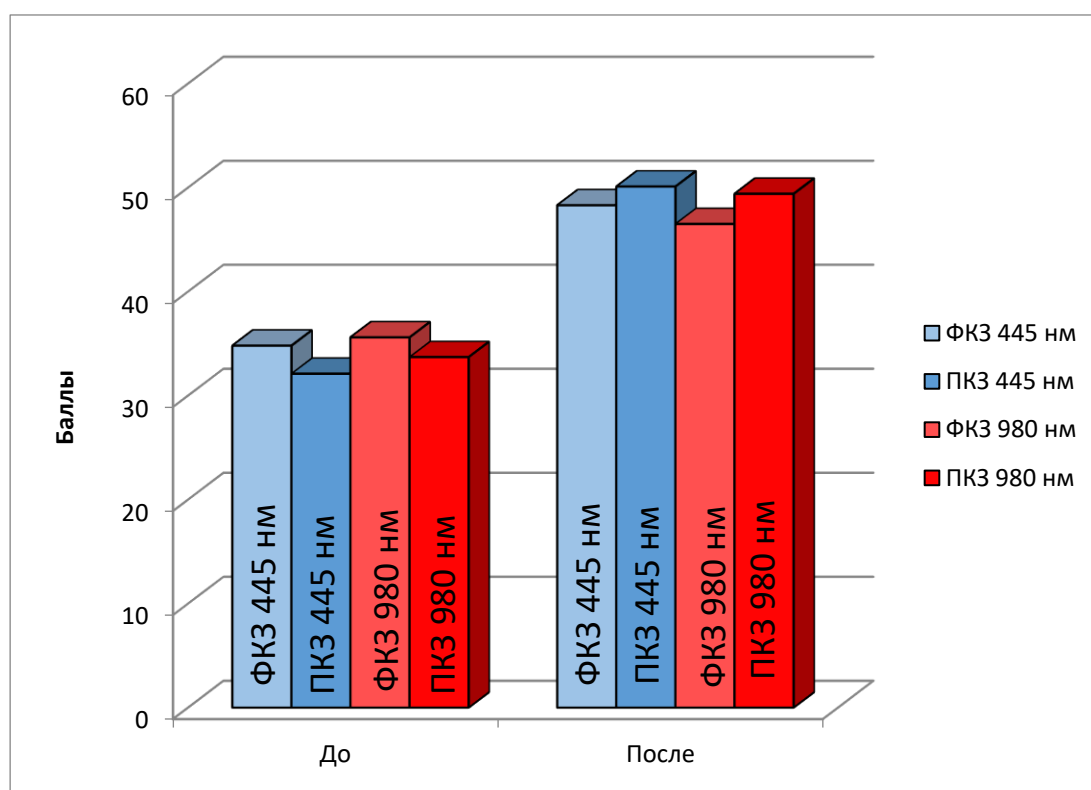


Рисунок 18 – Изменения баллов до и через 12 месяцев после оперативного лечения с использованием анкеты SF-36

В сравнении до и через 12 месяцев отличия в каждой группе отдельно были значимые ($p < 0,05$ с использованием W-критерия Уилкоксона). При сравнении отличий между группами до и после операции через 12 месяцев выявлено не было ($p > 0,05$ с использованием U-критерия Манна-Уитни).

Таким образом, у пролеченных предложенными способами пациентов уровень ФКЗ и ПКЗ соответствовал международной норме (50 ± 10) в обеих группах (рисунок 18).

Клиническое наблюдение №1

Пациент Г., 38 лет, обратился в ФГБУ СПб НИИ ЛОР с жалобами на постоянную осиплость, ощущение нехватки воздуха при бытовой нагрузке, одышку. Из анамнеза заболевания известно, что в 2018 г. пациенту выполнено хирургическое лечение по поводу диффузного токсического зоба. В раннем послеоперационном периоде отмечено умеренное затруднение дыхания. Спустя год после оперативного лечения пациент начал отмечать дальнейшее ухудшение дыхательной функции (появление одышки в покое). Было рекомендовано выполнение ларинготрахеопластики под эндотрахеальным наркозом.

При выполнении видеоларингоскопии до операции (рисунок 19): слизистая оболочка гортани розовая, влажная. Голосовые складки серые, неподвижны, находятся в парамедианном положении. Расстояние между голосовыми складками около 2-3 мм. Подскладковый отдел не визуализируется.

По данным спирометрии до оперативного лечения: ФЖЕЛ – 50%, ОФВ1 – 49%, ОФВ1/ФЖЕЛ – 96%. По данным у пациента тяжелая выраженность нарушений вентиляционной функции легких. По индексам МОС50выд/МОС50вд – 3,25, и ИДВ – 64,5 отмечается, что у пациента экстраторокальная обструкция.

По данным акустического анализа голоса: ВМФ – 8 секунды; Jitter – 3,9; Shimmer – 5,99; HNR – 0,13; ЧОТ составила 338,77 Гц.

На основании клинических, инструментальных результатов пациентке установлен основной диагноз хронический паралитический стеноз гортани. Сопутствующий диагноз: Послеоперационный гипотиреоз, компенсированный заместительной гормональной терапией.

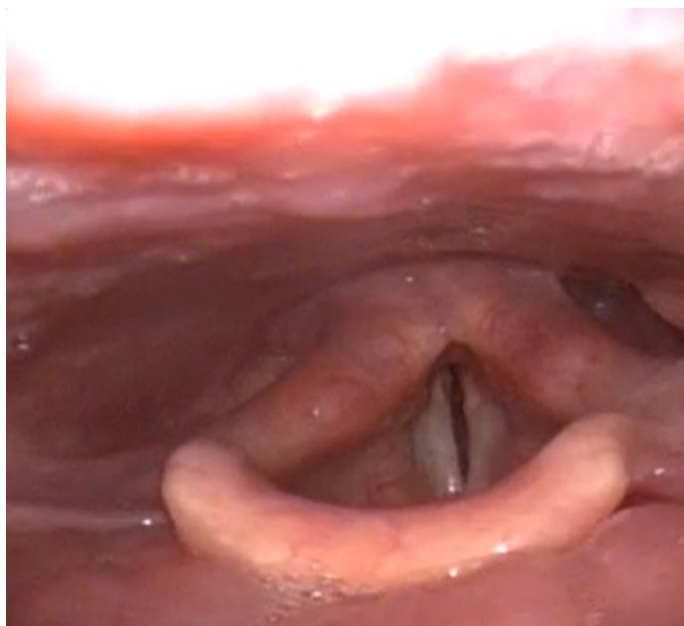
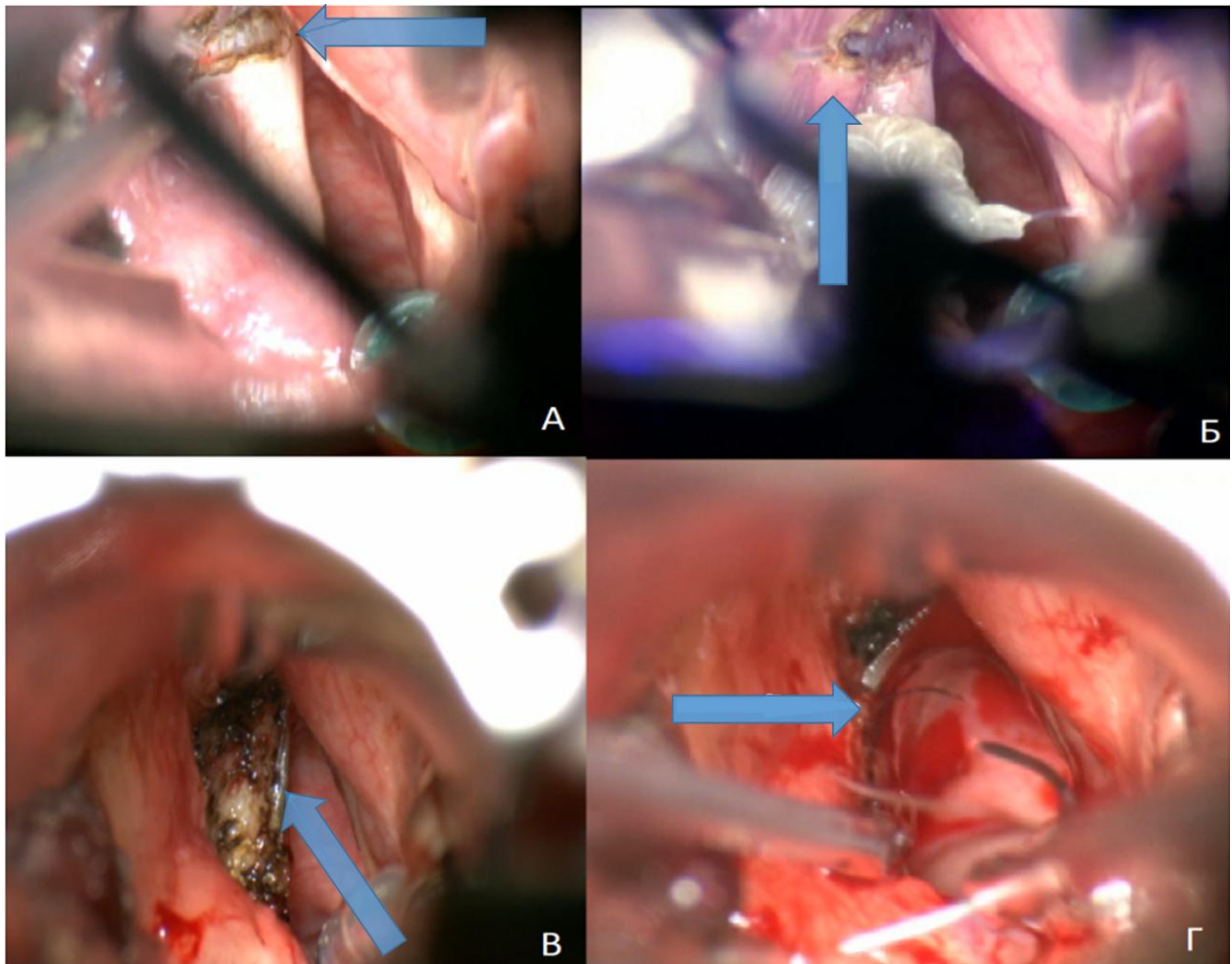


Рисунок 19 – Эндоларингиальная картина гортани у пациента Г. с хроническим паралитическим стенозом гортани

Принято решение о выполнении ларинготрахеопластики с использованием полупроводникового лазера с длиной волны 445 нм, выставляемый режим с импульсной мощностью 10 Вт, продолжительностью импульса 10 мс, длительность интервала между импульсами 100 мс. Метод хирургического лечения разработан на базе СПб НИИ ЛОР и внедрен в клиническую практику.

Оперативное вмешательство выполнено по методики, которая описана во второй главе. На рисунке 20 продемонстрированы основные этапы используемой методики.



- А – выполнение горизонтального разреза голосовой складки (разрез, указан синей стрелкой);
 Б – переход разреза с голосовой на вестибулярную складку (разрез, указан синей стрелкой);
 В – Окончательный вид смоделированного слизистого лоскута (лоскут, указан синей стрелкой);
 Г – фиксация слизистого лоскута 2-м швом (1-й узловой шов, указан синей стрелкой)

Рисунок 20 – Эндоларингиальная картина основных этапов оперативного лечения

При выполнении видеоларингоскопии гортани на 1 сутки после операции (рисунок 21) – слизистая оболочка гортани умеренно гиперемирована, незначительно отечна. Голосовые складки: справа серая, неподвижная, находится в медианном положении, слева – резецирована в задних двух третях, покрыта слизистым лоскутом, вестибулярная складка незначительно отечна, покрыта тонким слоем фибрина. Расстояние между голосовыми складками около 5-6 мм. Визуализируемый подскладковый отдел гортани без особенностей.

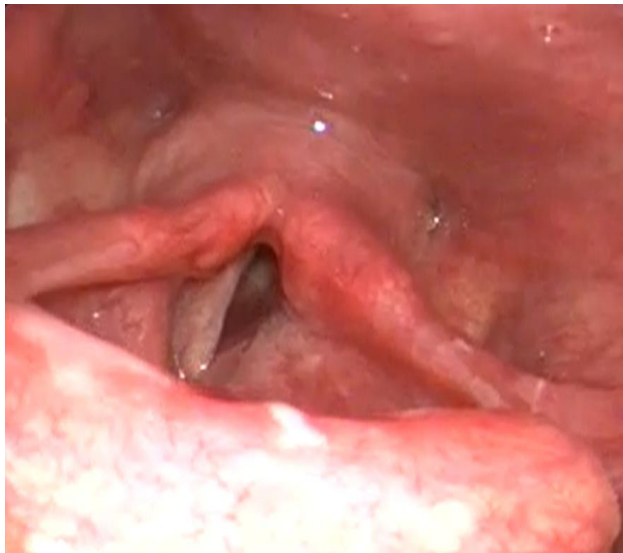


Рисунок 21 – Эндоларингиальная картина гортани у пациента Г. на 1-е сутки после операции

При выполнении видеоларингоскопии гортани на 10 сутки (рисунок 22) – слизистая оболочка гортани розовая, влажная, блестящая. Голосовые складки: справа серая, находится в медианном положении, слева резецирована в задних двух третях, покрыта слизистым лоскутом, в передней трети отмечается незначительная отечность голосовой складки, вестибулярная складка, покрыта тонким слоем фибрина. Расстояние между голосовыми складками около 7-8 мм.

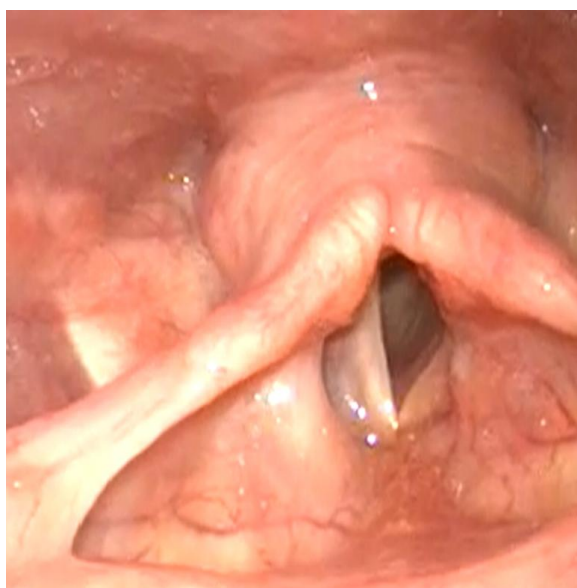


Рисунок 22 – Эндоларингиальная картина гортани у пациента Г. на 10-е сутки после операции

На 10-е сутки после оперативного вмешательства пациент был выписан с рекомендациями. Через месяц пациент был осмотрен фониатром с рекомендациями о начале курса фонопедии.

При видеоларингоскопии через 12 месяцев после оперативного лечения (рисунок 23): слизистая оболочка гортани розовая, влажная, блестящая. Голосовые складки: справа серая, находится в медианном положении, слева – резецирована в задних двух третях. Расстояние между голосовыми складками около 7-8 мм.

По данным спирометрии через 12 месяцев после оперативного лечения: ФЖЕЛ – 89%, ОФВ1 – 91%, ОФВ1/ФЖЕЛ – 102%.

По данным акустического анализа голоса: ВМФ – 6 секунды; Jitter – 5,93; Shimmer – 8,32; HNR – 0,185; ЧОТ составила 329,1 Гц.

Пациент был удовлетворен дыханием и голосом. По данным спирометрии у пациента не отмечается нарушений вентиляционной функции легких.



Рисунок 23 – Эндоларингиальная картина гортани пациента Г. через 12 месяцев после операции

Клиническое наблюдение №2

Пациент П., 47 лет, поступил во взрослое хирургического отделения ФГБУ «Санкт-Петербургский НИИ уха, горла, носа и речи» с диагнозом: хронический паралитический стеноз гортани. Состояние после радикальной струмэктомии от 2019 г. Дыхательная недостаточность II-III ст.

В обследование пациента входило: сбор жалоб и анамнеза, общеклиническое, оториноларингологическое обследование, видеоларингостробоскопия, исследование функции внешнего дыхания, акустический анализ голоса, компьютерная томография (КТ) гортани.

При поступлении пациентка предъявляла жалобы на затрудненное дыхание на вдохе, быструю утомляемость, невозможность подняться по лестнице больше двух пролетов без остановки. Из анамнеза известно, что пациентке было выполнено хирургическое лечение в объеме: струмэктомия по поводу злокачественного новообразования щитовидной железы в 2019 году.

По данным видеоларингостробоскопии: слизистая оболочка розовая. Надгортанник не изменен. Грушевидные синусы свободные, черпаловидные хрящи неподвижны. Голосовые складки ровные, неподвижные, белые, блестят, колебания отсутствуют, находятся при дыхании в парамедианном положении слева, справа в медианном положении. При глубоком дыхании максимальное межскладковое расстояние в задней трети около 2-3 мм. Подголосовой отдел не просматривается (рисунок 24).

По данным компьютерной томографии гортани и трахеи: КТ – признаки сужения голосового отдела гортани, признаков стеноза подголосового отдела гортани и трахеи на всем протяжении не выявлено. По данным функции внешнего дыхания: ФЖЕЛ – 79 %, ОФВ1 – 43 %, ОФВ1/ФЖЕЛ – 54 %. По индексам МОС50выд/МОС50вд – 1,1, и ИДВ – 71 – у пациента экстрагортальная обструкция.

По данным акустического анализа голоса: ВМФ – 8,9 секунды; Jitter – 3,2; Shimmer – 5,34; HNR – 0,16; ЧОТ составила 240,7 Гц.).



Рисунок 24 – Эндоскопическая картина гортани пациента П. до хирургического лечения

Принято решение о выполнении ларинготрахеопластики с использованием полупроводникового лазера с длиной волны 980 нм, выставляемый режим с импульсной мощностью 24 Вт, продолжительностью импульса 30 мс, длительность интервала между импульсами 50 мс. Метод хирургического лечения разработан на базе СПб НИИ ЛОР и внедрен в клиническую практику. Оперативное вмешательство выполнено по методики, которая описана во второй главе.

На 1-е сутки после оперативного лечения отмечалась отечность в области черпаловидного хряща, вестибулярной складки справа, правая голосовая складка в задних третях резецирована, покрыта фибрином, умеренное количество слизи (рисунок 25).

Осложнений в послеоперационном периоде не наблюдалось. Пациент был выписан на 10-е сутки после операции.

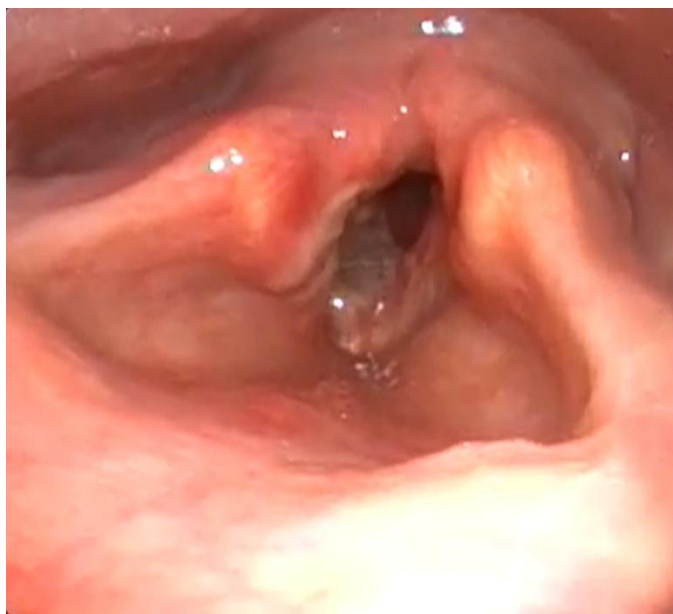


Рисунок 25 – Эндоскопическая картина гортани пациента П. на 1-й день после операции

Эндоскопическая картина на момент выписки (рисунок 26): вход в гортань свободный, слизистая оболочка розовая, влажная. Надгортанник, черпало-надгортанные складки не изменены.



Рисунок 26 – Эндоскопическая картина гортани пациента П. на 10-е сутки после операции

Голосовая складка слева – серая, ровная, черпаловидный хрящ без изменений, правая голосовая складка – резецирована в задней трети, покрыта фибрином, складка в передней трети слабо отечна, с инъекцией сосудов, в области резекции черпаловидного хряща, вестибулярной складки справа – тонкий фибриновый налет. В области голосовых складок – слизистое отделяемое в малом количестве. Межскладковый просвет около 6-7 мм. Дыхание через ВДП свободное, бесшумное. Жалоб на момент выписки нет.

В послеоперационном периоде пациент находился под наблюдением фониатра; фонопедическая коррекция была назначена к концу второго месяца после вмешательства, после исчезновения воспалительных изменений в гортани. На очередном контрольном осмотре через 12 месяц после оперативного лечения эндоскопическая картина (рисунок 27), межскладковый просвет голосовой щели около 8 мм.



Рисунок 27 – Эндоскопическая картина гортани пациента П. через 12-ть месяцев после операции

По данным функции внешнего дыхания: ФЖЕЛ – 82 %, ОФВ₁ – 83 %, ОФВ₁/ФЖЕЛ – 101 %.

По данным акустического анализа голоса: ВМФ – 6,8 секунды; Jitter – 7,14; Shimmer – 11,44; HNR – 0,21; ЧОТ составила 282,1 Гц.

На момент окончания наблюдения за пациентом через 12 месяцев у него удовлетворительное дыхание и голос.

4.3 Обсуждение результатов клинической части исследования

В хирургии ЛОР-органов, а именно ларингологии, лазерные аппараты со времен их внедрения в медицинскую практику хорошо себя зарекомендовали и широко используются. Они позволяют выполнять точное, бескровное, эффективное воздействие на ткань с целью ее удаления, что обеспечивает более качественное и быстрое проведение хирургических вмешательств. С применением хирургических лазеров в лечении ХПСГ удалось отказаться от превентивной трахеостомии.

Ключевым параметром, определяющим характер взаимодействия лазерного излучения с биологическими тканями, является длина волны. Лазер с длиной волны 445 нм («синий» лазер) относится к новому поколению лазерных технологий, сравнительно недавно ставшие использоваться в клинической практике. Его отличительной особенностью по сравнению с другими медицинскими лазерными системами является максимально выраженное поглощение в гемоглобине и оксигемоглобине. Лазеры с длиной волны 980 нм, относящиеся к ближнему инфракрасному диапазону, демонстрируют выраженный локальный пик поглощения в воде и цельной крови; их физические характеристики и механизмы взаимодействия с тканями достаточно полно описаны в литературе. Вместе с тем публикаций, посвященных хирургическому лечению хронического паралистического стеноза гортани (ХПСГ), как в отечественных, так и в зарубежных источниках крайне мало, а сравнительные исследования эффективности полупроводниковых лазеров различной длины волны отсутствуют.

Согласно результатам анализа интраоперационных данных, средняя длительность хирургического вмешательства при использовании лазера с длиной волны 980 нм была приблизительно на 15 минут меньше по сравнению с операциями, проведенными с применением лазера 445 нм. Данный факт можно объяснить более высокой скоростью абляции при выбранных режимах работы лазера 980 нм. Однако следует подчеркнуть, что при подводе эквивалентного количества энергии лазер с длиной волны 445 нм обеспечивает удаление большего объема тканей, что свидетельствует о более выраженных абляционных характеристиках данного излучения.

Частота интраоперационных кровотечений не показала статистически значимых различий между группами. Это, по-видимому, связано с тем, что в обоих случаях использовались режимы, ориентированные преимущественно на абляцию тканей, а не на коагуляцию. При воздействии на сосуды крупного калибра коагуляционных возможностей оказывалось недостаточно, что могло приводить к разрыву сосудистой стенки и возникновению кровотечения.

Сравнительный анализ данных видеоларингоскопии показал, что выраженность воспалительных изменений слизистой оболочки статистически значимо снижалась на 10-е сутки и через 1 месяц после вмешательства в группе, оперированной с использованием лазера 445 нм. Этот результат объясняется менее выраженным термическим повреждением окружающих тканей, что способствует более быстрой послеоперационному восстановлению пациентов.

Отдаленные результаты спирометрии не выявили статистически значимых различий между исследуемыми группами, что указывает на сопоставимую эффективность обоих лазеров в отношении восстановления дыхательной функции. Вместе с тем показатели акустического анализа голоса (Jitter и Shimmer) оказались более благоприятными в группе пациентов, оперированных с применением лазера 445 нм, что свидетельствует о лучшем сохранении голосовой функции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Хирургическое лечение больных с хроническим паралистическим стенозом гортани на данный момент остается актуальной темой, использование лазерных аппаратов в хирургическом лечении занимает лидирующие позиции. Однако, использование определенного лазера в каждой конкретной клинической ситуации различно, так как отличаются цели, которые хотят получить от взаимодействия с биологической тканью. Для каждой ткани, которые отличаются друг от друга оптическими свойствами, необходимы экспериментальные исследования, чтобы подобранные режимы имели оптимальными свойствами воздействия на ткани, что позволит уменьшить возможные риски осложнений, ускорит заживление послеоперационной раны, уменьшит реабилитацию пациентов, повысит стабильность результатов от лечения.

Проведенные нами эксперименты позволили установить оптимальные параметры абляционного воздействия для лазера с длиной волны 445 нм, а также подтвердить ранее определенные режимы работы установки с длиной волны 980 нм.

Для резекционных вмешательств при хроническом паралистическом стенозе гортани рекомендуются следующие настройки:

- для лазера 445 нм: импульсная мощность – 10 Вт, длительность импульса – 10 мс, интервал между импульсами – 100 мс;
- для лазера 980 нм: импульсная мощность – 24 Вт, длительность импульса – 30 мс, интервал – 50 мс.

Клиническая часть исследования показала, что использование лазерного излучения 445 нм по сравнению с лазером 980 нм обеспечивает более быстрое заживление послеоперационной раны за счет меньшей зоны термического повреждения. Это, в свою очередь, способствует ускоренному восстановлению пациента. По данным акустического анализа голоса в группе, оперированной с применением 445-нм лазера, зарегистрированы менее выраженные нарушения голосовой функции, что подтверждается показателями Jitter и Shimmer.

На основе полученных данных разработан и внедрен в клиническую практику способ хирургического лечения стенозов голосового отдела гортани с использованием лазерного излучения длиной волны 445 нм.

Результаты проведенной работы демонстрируют высокую эффективность применения лазера 445 нм для достижения оптимальной абляции при минимальном термическом воздействии на окружающие ткани. Разработанный метод может быть рекомендован для широкого внедрения в практику оториноларингологии.

ВЫВОДЫ

1. Применение лазерного аппарата с длиной волны 445 нм при настройках: импульсная мощностью – 10 Вт, продолжительностью импульса – 10 мс, длительность интервала между импульсами – 100 мс, а также использование лазерного аппарата с длиной волны 980 нм при параметрах: импульсная мощностью – 24 Вт, продолжительностью импульса – 30 мс, длительностью интервала между импульсами – 50 мс обеспечивают наилучшие абляционные свойства с минимальными термическими повреждениями окружающих тканей, как на неживых, так и на живых биологических моделях голосовых складок.

2. Разработанный способ хирургического лечения хронических паралитических стенозов гортани с применением импульсных режимов полупроводниковых лазеров обеспечивает быстрое восстановление дыхательной и голосовой функции у пациентов в послеоперационном периоде.

3. При анализе интраоперационных результатов в группе пациентов где использовался лазер с длинной волны 980 нм, отмечена меньшая длительность оперативного вмешательства ($p < 0,05$) в сравнении с группой, где применялся лазер с длиной волны 445 нм. При этом статистически значимых различий между группами по частоте кровотечений и способам их остановки не установлено.

4. В послеоперационном обследовании установлено, что в группе пациентов, где использовался лазер с длиной волны 445 нм отмечены более ранние сроки регрессии воспалительных изменений в послеоперационной ране (на 10-й день, $p=0,03$; в 1-й месяц $p= 0,041$), менее выраженное повышение параметров Jitter, Shimmer, HNR ($p < 0,05$) в сравнении с послеоперационными показателями в группе пациентов, где использовался лазер с длиной волны 980 нм.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Лазерный аппарат с длиной волны 445 нм продемонстрировал высокие абляционные свойства с минимальными термическими повреждениями окружающих тканей, рекомендовано использование для хирургического лечения хронического паралитического стеноза гортани в режимах с импульсной мощностью 10 Вт, продолжительностью импульса 10 мс, длительность интервала между импульсами 100 мс.

2. При оценке показателей спирометрии у пациентов с жалобой на одышку рекомендуется рассчитывать индексы МОС₅₀выд/МОС₅₀вд и индекс диспропорции выдоха для определения вероятности экстраторакальной обструкции, данные индексы высоко специфичны и чувствительны.

3. Рекомендовано использование лазерного аппарата с длиной волны 445 нм с длительностью интервала между импульсами 100 мс в атмосфере инертного газа для повышения коэффициента эффективности разреза (k), что дает более выраженную абляцию при минимальном термическом повреждении окружающих тканей и ускоряет проведение хирургического вмешательства..

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

Nd:YAG лазер – лазер на алюмо-иттриевом гранате, активированном неодимом

ВДП – верхних дыхательных путей

ВМФ – время максимальной фонации

DLco – диффузионной способности легких по монооксиду углерода

EDI(ИДВ) – индекс диспропорции выдоха

КТ – компьютерная томография

МОС50вд – соотношение скоростных параметров на уроне 50% ФЖЕЛ при вдохе

МОС50 – соотношение скоростных параметров на уроне 50% ФЖЕЛ при выдохе

МРТ – магнитно-резонансная томография

ОФВ₁ – объем форсированного выдоха за одну секунду

PEF – пиковой скорости выдоха

ФВД – функция внешнего дыхания

ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких

ФОЕ – функциональная остаточная функция легких

ХПСГ – хронический паралитический стеноз гортани

ЧОТ – частота основного тона

VHI (Voice Handicap Index) – опросник расстройства голоса

ПКЗ – психологический компонент здоровья

ФКЗ – физический компонент здоровья

SF-36 (The Short Form (36) Health Survey) – опросник качества жизни

LEMG – электромиография гортани

Jitter – нестабильность частоты основного тона

Shimmer – нестабильность амплитуды вибраторных движений голосовых складок

NHR – соотношение шумовых и гармоничных компонентов

k – коэффициент эффективности разреза

ROC-анализ – Receiver Operating Characteristic анализ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабияк, В.И. Оториноларингология / В.И. Бабияк, Я.А. Накатис, М.И. Говорун. – СПб. : Питер, 2012. – 640 с.
2. Бербом, Х. Болезни уха, горла и носа / Х. Бербом, О. Кашке, Т. Навка [и др.]. – М.: МЕДпресс-информ, 2016. – 772 с.
3. Блоцкий, А.А. Неотложные состояния в оториноларингологии: учебное пособие / А.А. Блоцкий, С.А. Карпищенко. – СПб.: Издательство «Диалог», 2019. – 208 с.
4. Брайко, И.И. Распространенность, этиология, клиника и дифференциальная диагностика хронических паралитических стенозов гортани / И.И. Брайко, А.А. Кривопапов, П.А. Шамкина // Российская оториноларингология. – 2019. – Т. 18, № 6. – С. 88–96.
5. Василенко, Ю.С. Голос. Фониатрические аспекты / Ю. С. Василенко. - Москва : Дипак, 2013. - 394 с.
6. Грекова, М.М. Хирургическое лечение двусторонних паралитических стенозов гортани (литературный обзор) / М.М. Грекова, И.А. Аникин, С.В. Рязенцев // Российская оториноларингология. – 2012. – Т. 5, № 60. С. 144–155.
7. Диагностика и лечение двустороннего паралича гортани / Е.А. Кирасирова, О.К. Пиминиди, Н.В. Лафуткина [и др.] // Вестник оториноларингологии. – 2017. – Т. 82, № 4. – С. 77–82.
8. Долгов, О.И. Эндоскопическое хирургическое лечение и реабилитация больных с паралитическими стенозами гортани : автореферат дис. ... кандидата медицинских наук : 14.01.03 / Долгов Олег Игоревич; [Место защиты: С.-Петербург. гос. мед. ун-т им. И.П. Павлова]. - Санкт-Петербург, 2015. - 22 с.
9. Захарова, М.Л. Параличи гортани у детей. Тактика ведения больных / М.Л. Захарова, П.В. Павлов // Российская оториноларингология. – 2017. – Т. 3, № 88. – С. 41–45.

10. Инкина, А.В. Поиск оптимального режущего инструмента в реконструктивной хирургии гортани и трахеи / А.В. Инкина, П.Д. Пряников // Head and Neck/Голова и шея. Российское издание. – 2023. – Т. 11, № 1. – С. 21–27.
11. Князьков, В.Б. Лазерная хирургия заболеваний глоточного лимфатического кольца / В.Б. Князьков, В.В. Гофман, В.Р. Гофман. – Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2016 – 440 с.
12. Колесникова О.М. О дифференциальной диагностике паралитических рубцовых стенозов / О.М. Колесникова, О.И. Долгов, Н.А. Еремина // Российская оториноларингология. – 2014. – Т. 68, № 1. – С.104–109.
13. Комплексное лечение дисфоний у лиц голосоречевых профессий / Ю.Е. Степанова, Т.В. Готовяхина, А.А. Корнеев [и др.] // Вестник оториноларингологии. – 2017. – Т. 82, № 3. – С. 48–53.
14. Криштопова, М.А. Лингвистическая адаптация и подтверждение применения русской версии опросника Индекс изменения голоса-30 (Voice Handicap Index (VHI)-30) у пациентов с дисфонией / М.А. Криштопова, С.А. Семенов, Л.Г. Петрова // Вестник оториноларингологии. – 2021. – Т. 86, № 3. – С. 20–27.
15. Крылов, Б.С. Диагностика и лечение парез и параличей гортани. Учебное пособие для врачей-курсантов / Б.С. Крылов, Л.А. Бухман, Ю.Н. Кутуков. - Л.: ЛенГИДУВ, 1981. - 11 с.
16. Лазерная терапия в комплексном лечении больных с хроническим стенозом гортани и трахеи различной этиологии / Ж.Е. Комарова, А.Н. Наседкин, В.Н. Селин, П.Д. Пряников // Лазерная медицина. – 2015. – Т. 19, № 2. – С. 29–33.
17. Минаев, В.П. Лазерные медицинские системы и медицинские технологии на их основе : учебное пособие / В.П. Минаев. - 4-е изд., испр. и доп. - Долгопрудный : Интеллект, 2020. - 360 с.
18. Неворотин, А.И. Введение в лазерную хирургию : Учеб. пособие / А. И. Неворотин. - СПб. : СпецЛит, 2000. - 174 с.

19. Общая оториноларингология – хирургия головы и шеи / Э.П.Склафани, Р.А.Дилески, М. Д. Питман [и др.]. – Москва : Издательство Панфилова. – 2017. – 736 с.
20. Пальчун, В.Т. Оториноларингология: национальное руководство / Под ред. В.Т. Пальчуна. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2022. – 1024 с.
21. Парезы и параличи гортани. Клинические рекомендации. - Москва, 2014. – 18 с.
22. Плужников, М.С. Лазерный коагулятор в оториноларингологии / М.С. Плужников, Ю.Д. Березин, Б.С. Иванов // Вестник оториноларингологии. – 1986. – № 6. – С. 68–72.
23. Плужников, М.С. Хронические стенозы гортани / М.С. Плужников, М.А. Рябова, С.А. Карпищенко, под ред. проф. Н.Н. Петрищева. – СПб.: Эскулап, 2004. – 208 с.
24. Погосов, В.С. Атлас оперативной оториноларингологии : учеб. пособие / Под ред. В.С. Погосова. – Москва : Медицина, 1983. – 416 с.
25. Подкопаева, Ю.Ю. Экспериментальное обоснование и оценка эффективности применения диодного лазера 980 НМ в хирургическом лечении хронических стенозов голосового отдела гортани : клинико-экспериментальное исследование : автореферат дис. ... кандидата медицинских наук : 14.01.03 / Подкопаева Юлия Юрьевна; [Место защиты: С.-Петерб. науч.-исслед. ин-т уха, горла, носа и речи]. - Санкт-Петербург, 2016. - 25 с.
26. Применение лазера с длиной волны 445 нм в хирургии гортани: экспериментальное исследование / А.А. Кривопапов, П.А. Шамкина, В.А. Ильина [и др.] // Российская оториноларингология. – 2022. – Т. 120, № 5. – С. 47–54.
27. Причины расстройств голосовой функции после операций на щитовидной железе : учебное пособие / А. Ф. Романчишен, Я. А. Накатис, К. В. Вабалайте, Т. В. Готовяхина. - Санкт-Петербург : СпецЛит, 2017. - 110 с.
28. Результаты хирургического лечения с использованием СО2-лазера у больных с двусторонним паралитизмом гортани / М.Ю. Хоранова, И.И.

Нажмуудинов, Т.И. Гаращенко [и др.] // Российская оториноларингология. – 2022. – Т. 116, № 1. – С. 66–73.

29. Рябова, М.А. Острые стенозы гортани: пособие для студентов медицинских вузов и врачей. Часть 1 / М.А. Рябова, В.Н. Ермаков. - СПб.: Издательство СПбГМУ, 2008. – 20 с.

30. Рябова, М.А. Рябова, М. А. Хронические стенозы гортани: клиника и лазерная хирургия : специальность 14.01.03 "Болезни уха, горла и носа" : диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук / Рябова Марина Андреевна. – Москва, 2005. – 226 с.

31. Скобелькин, О.К. Лазеры в хирургии / О.К. Скобелькин. – Москва : Медицина, 1989. – 256 с.

32. Современные аспекты лечения больных двусторонним параличом гортани в зависимости от длительности заболевания / Е.А. Кирасирова, О.К. Пиминиди, Е.А. Кузина [и др.] // Вестник оториноларингологии. - 2017. – Т. 82, № 5. – С. 4–8.

33. Солдатов, И.Б. Оториноларингология / И.Б. Солдатов, В.Р. Гофман // СПб.: ЭЛБИ, 2000. – 472 с.

34. Спирометрия: методическое руководство по проведению исследования и интерпретации результатов / М.Ю. Каменева, А.В. Черняк, З.Р. Айсанов [и др.] // Пульмонология. – 2023. – Т. 33, № 3. – С. 307–340.

35. Станишевский, Р.О. Пролонгированная релаксация m. cricothyroideus в реабилитации дыхательной функции при хроническом двустороннем параличе гортани : автореферат дис. ... кандидата медицинских наук : 3.1.3. / Станишевский Руслан Олегович; [Место защиты: ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи» Министерства здравоохранения Российской Федерации ; Диссовет 21.1.064.01 (Д 208.091.01)]. - Новосибирск, 2023. - 30 с.

36. Стенозы и дефекты гортани и трахеи / Д.И. Тарасов, С.Н. Лапченко, И.М. Банарь [и др.]. - Кишинев : Штиинца, 1982. - 280 с.

37. Степанова, Ю.Е. Алгоритм обследования пациентов с односторонним парезом гортани неясной этиологии в практике врача-оториноларинголога / Ю.Е. Степанова, Т.В. Готовяхина // *Consilium Medicum*. – 2017. – Т. 11, № 1. – С. 37–40.
38. Степанова, Ю.Е. Заболевания гортани у лиц голосоречевых профессий: учебное пособие / Ю.Е. Степанова, С.А. Артюшкин, Т.В. Готовязина. – СПб.: Полифорум, 2018. – 84 с.
39. Стручков, П.В. Спирометрия / П.В. Стручков, Д.В. Дроздов, О.Ф. Лукина. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2020. – 112 с.
40. Усков, А.Е. Хирургическая реабилитация больных с двусторонним паралитическим стенозами гортани / А.Е. Усков // *Вестник оториноларингологии*. – 1998. – № 4. – С. 58–61.
41. Хирургическое лечение больных с двусторонним параличом гортани после струмэктомии / А.И. Крюков, Е.А. Кирасирова, Н.В. Лафуткина [и др.] // *Омский научный вестник*. – 2014. – Т. 134, № 2. – С. 54-56.
42. Цветков, Э.А. Микроларингоскопия и эндоскопическая микрохирургия гортани. Технические приемы, инструментарий / Э.А. Цветков, П.В. Павлов. – СПб.: ЭЛБИ, 2006. – 16 с.
43. Шиленкова, В.В. Акустический анализ голоса: монография / В.В. Шиленкова. – Ярославль : Аверс Плюс, 2015. – 176 с.
44. Шиленкова, В.В. Дисфония и голос / В.В. Шиленкова. – Ярославль: Аверс Плюс. 2018. – 256 с.
45. Юрков, А.Ю. Количественная оценка голоса у пациентов с хроническими двусторонними паралитическими стенозами гортани / А.Ю. Юрков, А.Е. Усков // *Российская оториноларингология*. – 2013. – Т. 63, № 2. – С. 105–107.
46. Ягудин, Р.К. Оперативные вмешательства при срединном паралитическом стенозе гортани / Р.К. Ягудин, В.Р. Деменков, К.Ф. Ягудин // *Вестник оториноларингологии*. – 2011. – № 2. – С. 80–85.
47. Яремчук, С.Э. Диагностическое значение электромиографии у пациентов с нарушениями двигательной иннервации гортани / С.Э. Яремчук, Т.Б.

Земляк // Оториноларингология. Восточная Европа. – 2017. – Т. 7, № 2. – С. 207-214.

48. 2017 ERS/ATS standards for single-breath carbon monoxide uptake in the lung / B.L. Graham, V. Brusasco, F. Burgos [et al.] // Eur Respir J. – 2017. – Vol. 49, № 1. – P. 1600016.

49. A novel blue light laser system for surgical applications in dentistry: evaluation of specific laser-tissue interactions in monolayer cultures / J. Reichelt, J. Winter, J. Meister [et al.] // Clin Oral Invest. – 2017. – Vol. 21. – P. 985–994.

50. Aetiology and treatment of vocal fold paralysis: retrospective study of 108 patients / C. Bothe, M. López, M. Quer [et al.] // Acta Otorrinolaringol Esp. – 2014. – Vol. 65, № 4. – P. 225–230.

51. Alipour, F. Vocal fold elasticity in the pig, sheep, and cow larynges / F. Alipour, S. Jaiswal, S. Vigmostad // J Voice. – 2011. – Vol. 25, № 2. – P. 130–136.

52. Ambrosch, P. The role of laser microsurgery in the treatment of laryngeal cancer / P. Ambrosch // Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg. – 2007. – Vol. 15, № 2. – P. 82–88.

53. Ampazis, D. The Clinical Utility of Pulmonary Function Tests in the Diagnosis and Characterization of Central Airway Obstruction: A Narrative Review / D. Ampazis, V. Vlachakos, N.J. Anagnostopoulos // Clin Med. – 2024. – Vol. 22, № 13. – P. 6299.

54. Benninger, M.S. Changing etiology of vocal fold immobility / M.S. Benninger, J.B. Gillen, J.S. Altman // Laryngoscope. – 1998. – Vol. 108, № 9. – P. 1346–1350.

55. Benninger, M.S. Coblation Cordotomy for the Management of Bilateral Vocal Fold Immobility / M.S. Benninger, M. Syamal, V.L. Gau // J Voice. – 2022. – Vol. 39, № 2. – C. 538–542.

56. Benninger, M.S. Surgical management of bilateral vocal fold paralysis / M.S. Benninger, N. Bhattacharyya, M.P. Fried // Operative Techniques in Otolaryngology – Head and Neck Surgery. – 1998. – Vol. 9, № 4. – P. 224–229.

57. Blue Light Laser Results in Less Vocal Fold Scarring Compared to KTP Laser in Normal Rat Vocal Folds / R.J. Lin, V. Iakovlev, C. Streutker [et al.] // *Laryngoscope*. – 2021. – Vol. 131, № 4. – P. 853–858.
58. Botulinum toxin injections for new onset bilateral vocal fold motion impairment in adults / D.C. Ekbom, C.G. Garrett, K.C. Yung [et al.] // *Laryngoscope*. – 2010. – Vol. 120, № 4. – P. 758–763.
59. Brake, M.K. Bilateral vocal fold immobility: a 13 year review of etiologies, management and the utility of the Empey index / M.K. Brake, J. Anderson // *J Otolaryngol Head Neck Surg*. – 2015. – Vol. 44, № 1. – P. 1–7.
60. Braun, A. Efficiency of soft tissue incision with a novel 445-nm semiconductor laser / A. Braun, M. Kettner, M. Berthold // *Lasers Med Sci*. – 2018. – Vol. 33, № 1. – P. 27–33.
61. Causes of Vocal Fold Paralysis / H.W. Wang, C.C. Lu, P.Z. Chao [et al.] // *Ear Nose Throat J*. – 2022. – Vol. 101, № 7. – P. 294–298.
62. Challenges in the management of laryngeal stenosis / S. Nair, A. Nilakantan, A. Sood [et al.] // *Indian Journal of Otolaryngology and Head & Neck Surgery*. – 2016. – Vol. 68, № 3. – P. 294–299.
63. Chen, X. Types and timing of therapy for vocal fold paresis/paralysis after thyroidectomy: a systematic review and meta-analysis / X. Chen, P. Wan, Y. Yu // *J Voice*. – 2014. – Vol. 28, № 6. – P. 799–808.
64. CO₂ laser subtotal arytenoidectomy and posterior true and false cordotomy in the treatment of post-thyroidectomy bilateral laryngeal fixation in adduction / M. Maurizi, G. Paludetti, J. Galli [et al.] // *Eur Arch Otorhinolaryngol*. – 1999. – Vol. 256, № 6. – P. 291–295.
65. Comparison of the Localization of Integral Membrane Proteins in Human and Rabbit Vocal Folds / G.J. Gartling, L. Sayce, E.E. Kimball [et al.] // *Laryngoscope*. – 2021. – Vol. 131, № 4. – P. 1265–1271.
66. Comparison of Voice and Swallowing Parameters After Endoscopic Total and Partial Arytenoidectomy for Bilateral Abductor Vocal Fold Paralysis: A

Randomized Trial / T. Yılmaz, N. Suslu, G. Atay [et al.] // JAMA Otolaryngol Head Neck Surg. – 2013. – Vol. 139, № 7. – P. 712–718.

67. Complications of suspension laryngoscopy / J.P. Klussmann, R. Knoedgen, C. Wittekindt [et al.] // Ann Otol Rhinol Laryngol. – 2002. – Vol. 111, № 11. – P. 972–976.

68. Consensus statement: Using laryngeal electromyography for the diagnosis and treatment of vocal cord paralysis / M.C. Munin, Y.D. Heman-Ackah, C.A. Rosen [et al.] // Muscle Nerve. – 2016. – Vol. 53, № 6. – P. 850–855.

69. Corpectomy versus arytenoidectomy in the management of bilateral vocal cord paralysis / H.E. Eckel, M. Thumfart, K. Wassermann [et al.] // Ann Otol Rhinol Laryngol. – 1994. – Vol. 103, № 11. – P. 852–857.

70. Cricoarytenoid Joint Ankylosis: Classification and Transoral Laser Microsurgical Treatment / I. Atallah, M. Mk, A. Al Omari, C.A. Righini [et al.] // J Voice. – 2019. – Vol. 33, № 3. – P. 375–380.

71. Current state of scanning micromanipulator applications with the carbon dioxide laser / M. Remacle, G. Lawson, M.C. Nollevaux [et al.] // Ann Otol Rhinol Laryngol. – 2008. – Vol. 117, № 4. – P. 239–244.

72. Dennis, D.P. Carbon dioxide laser posterior corpectomy for treatment of bilateral vocal cord paralysis / D.P. Dennis, H. Kashima // Ann Otol Rhinol Laryngol. – 1989. – Vol. 98, № 12. – P. 930–934.

73. Diagnosis of laryngotracheal stenosis from routine pulmonary physiology using the expiratory disproportion index / S.A. Nouraei, S.M. Nouraei, A. Patel [et al.] // Laryngoscope. – 2013. – Vol. 123, № 12. – P. 3099–3104.

74. Djugai, S. Chronic vocal cord palsy in Thuringia, Germany: a population-based study on epidemiology and outcome / S. Djugai, D. Boeger, J. Buentzel // Eur Arch Otorhinolaryngol. – 2014. – Vol. 271, № 2. – P. 329–335.

75. Early vocal cord laterofixation for the treatment of bilateral vocal cord immobility / L. Rovo, J. Jori, L. Ivan [et al.] // Eur Arch Otorhinolaryngol. – 2001. – Vol. 258. – P. 509–513.

76. Eckel, H.E. Laser surgical microlaryngoscopic glottis dilatation in the treatment of recurrent bilateral nerve paralysis. Surgical technique and results / H.E. Eckel // *Laryngorhinootologie*. – 1991. – Vol. 70, № 1. – P. 17–20.
77. Eckel, H.E. Morphometric studies at the level of the glottis as a principle in larynx enlarging microlaryngoscopic surgical procedures in bilateral recurrent nerve paralysis / H.E. Eckel, C. Sittel // *Laryngorhinootologie*. – 1994. – Vol. 73, № 8. – P. 417–422.
78. Eckel, H.E. Morphometry of the glottis: an anatomical basis for airway restoring procedures in bilateral recurrent nerve paralysis / H.E. Eckel, C. Sittel // *Laryngol Rhinol Otol (Stuttg)*. – 1994. – Vol. 73. – P. 417–422.
79. Effects of 445-nm Laser on Vessels of Chick Chorioallantoic Membrane with Implications to Microlaryngeal Laser Surgery / D.D. Nguyen, J.Y. Pang, C. Madill [et al.] // *Laryngoscope*. – 2021. – Vol. 131, № 6. – P. 1950–1956.
80. Effects of diode laser setting for laryngeal surgery in a rabbit model / H.H. Arroyo-Ramos, L. Neri, M.W. Mancini [et al.] // *Eur Arch Otorhinolaryngol*. – 2019. – Vol. 276. – P. 1431–1438.
81. Elies, W. Histological findings in arytenoid cartilages after long-lasting recurrent nerve paralysis / W. Elies, A. Pusalkar // *J Laryngol Otol*. – 1983. – Vol. 97, № 10. – P. 949–957.
82. Endoscopic laser arytenoidectomy for the treatment of bilateral vocal cord paralysis / R.H. Ossoff, G.A. Sisson, J.A. Duncavage [et al.] // *Laryngoscope*. – 1984. – Vol. 94, № 10. – P. 1293–1297.
83. Epidemiology of vocal fold paralyses after total thyroidectomy for well-differentiated thyroid cancer in a Medicare population / D.O. Francis, E.C. Pearce, S. Ni [et al.] // *Otolaryngol Head Neck Surg*. – 2014. – Vol. 150, № 4. – P. 548–557.
84. Ex vivo histological analysis of the thermal effects created by a 445-nm diode laser in oral soft tissue biopsy / G. Palaia, A. Impellizzeri, G. Tenore [et al.] // *Clin Oral Investig*. – 2020. – Vol. 24, № 8. – P. 2645–2652.
85. Fancello, V. Role of reinnervation in the management of recurrent laryngeal nerve injury: current state and advances / V. Fancello, S.A.R. Nouraei, K.J.

Heathcote // Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg. – 2017. – Vol. 25, № 6. – P. 480–485.

86. Flash pump dye laser treatment of laryngeal papillomas / C.M. Bower, S. Flock, M. Waner [et al.] // Ann Otol Rhinol Laryngol. – 1998. – Vol. 107, № 12. – P. 1001–1005.

87. Functional results of endoscopic arytenoid abduction lateropexy for bilateral vocal fold palsy / L. Rovo, V. Matievics, B. Sztano [et al.] // Eur Arch Otorhinolaryngol. – 2022. – Vol. 279, № 4. – P. 1995–2002.

88. Gacek, M. Cricoarytenoid joint mobility after chronic vocal cord paralysis / M. Gacek, R.R. Gacek // Laryngoscope. – 1996. – Vol. 106, № 12. – P. 1528–1530.

89. Guidelines for the Use of Botulinum Toxin in Otolaryngology From the Korean Society of Laryngology, Phoniatrics and Logopedics Guideline Task Force / M.J. Ban, C.H. Ryu, J.H. Woo [et al.] // Clin Exp Otorhinolaryngol. – 2023. – Vol. 16, № 4. – P. 291–307.

90. Hess, M.M. New 445 nm blue laser for laryngeal surgery combines photoangiolytic and cutting properties / M.M. Hess, S. Fleischer, M. Ernstberger // Eur Arch Otorhinolaryngol. – 2018. – Vol. 275, № 6. – P. 1557–1567.

91. Histopathological change of cricoarytenoid joint after laryngeal recurrent nerve paralysis in dogs / H.Y. Hu, W. Xu, E.Z. Fan [et al.] // Zhonghua Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi. – 2010. – Vol. 45, № 1. – P. 56–60.

92. Holinger, L.D. Etiology of bilateral abductor vocal cord paralysis: a review of 389 cases / L.D. Holinger, P.C. Holinger, P.H. Holinger // Ann Otol Rhinol Laryngol. – 1976. – Vol. 85, № 4. – P. 428–436.

93. How can we identify subglottic stenosis in patients with suspected obstructive disease? / E. Ntouniadakis, J. Sundh, J. Söderqvist [et al.] // Eur Arch Otorhinolaryngol. – 2023. – Vol. 280, № 11. – P. 4995–5001.

94. Iatrogenic Vocal Fold Paralysis: A Population-Based Cohort Study in Taiwan / Y.T. Lai, P.Z. Chao, Y.K. [et al.] // Chang Ann Otol Rhinol Laryngol. – 2022. – Vol. 131, № 7. – P. 767–774.

95. Ibrahim, A.A. Endoscopic assisted microscopic posterior cordotomy for bilateral abductor vocal fold paralysis using radiofrequency versus coblation / A.A. Ibrahim, A.M. Hamdan, A.A. Elnaggar // *Eur Arch Otorhinolaryngol.* – 2023.
96. Jako, G.J. Laser surgery of the vocal cords: an excellent study with carbon dioxide laser on dogs / G.J. Jako // *Laryngoscope.* – 1972. – Vol. 82. – P. 2204–2215.
97. Khlopkov, A.D. Comparative study of soft tissue surgery by visible and infrared laser radiation / A.D. Khlopkov, I.D. Samoilov, K.V. Shatilova // *Lasers Med Sci.* – 2023. – Vol. 38, № 1. – P. 167.
98. Kleinsasser, O. Endolaryngeal arytenoidectomy and submucous hemichordectomy for the widening of the glottis in bilateral abductor paralysis / O. Kleinsasser // *Mschr Ohr Laryngorhino.* – 1968. – Vol. 102. – P. 443–446.
99. Kleinsasser, O. Endolaryngeal microsurgery / O. Kleinsasser // *J Otolaryngol Soc Aust.* – 1968. – № 3. – P. 3–7.
100. Larner, S.P. Consistent Technique Limits Suspension Laryngoscopy Complications / S.P. Larner, R.A. Fornelli, S.D. Griffith // *Int Arch Otorhinolaryngol.* – 2019. – Vol. 23, № 3. – P. 305–310.
101. Laryngeal electromyography for prognosis of vocal fold palsy: a meta-analysis / S.M. Rickert, L.F. Childs, B.T. Carey [et al.] // *Laryngoscope.* – 2012. – Vol. 122, № 1. – P. 158–161.
102. Laryngoscopy in Bilateral Vocal Fold Immobility: Can You Make a Diagnosis? / S.M. Cohen, C.G. Garrett, J.L. Netterville [et al.] // *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology.* – 2006. – Vol. 115, № 6. – P. 439–443.
103. Li, Y. Current Treatment Options for Bilateral Vocal Fold Paralysis: A State-of-the-Art Review / Y. Li, G. Garrett, D. Zealear // *Clin Exp Otorhinolaryngol.* – 2017. – Vol. 10, № 3. – P. 203–212.
104. Lichtenberger, G. Reversible immediate and definitive lateralization of paralyzed vocal cords / G. Lichtenberger // *Eur Arch Otorhinolaryngol.* – 1999. – Vol. 256. – P. 407–411.

105. Lichtenberger, G. Technique of endo-extralaryngeal suture lateralization for bilateral abductor vocal cord paralysis / G. Lichtenberger, R.J. Toohill // *Laryngoscope*. – 1997. – Vol. 107, № 9. – P. 1281–1283.
106. Long term result of arytenoidectomy with CO₂ laser for dyspnoea in iatrogenic bilateral vocal fold paralysis patients / Q.H. Cheng, P.J. Ge, X.L. Sheng [et al.] // *Lin Chuang Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi*. – 2016. – Vol. 30, № 6. – P. 485–490.
107. Lung function changes and exercise-induced ventilatory responses to external resistive loads in normal subjects / K. Wassermann, A. Gitt, J. Weyde [et al.] // *Respiration*. – 1995. – Vol. 62, № 4. – P. 177–184.
108. Management of bilateral arytenoid cartilage fixation versus recurrent laryngeal nerve paralysis / H.E. Eckel, C. Wittekindt, J.P. Klussmann [et al.] // *Ann Otol Rhinol Laryngol*. – 2003. – Vol. 112, № 2. – P. 103–108.
109. Marina, M.B. Laryngeal reinnervation for bilateral vocal fold paralysis / M.B. Marina, J.P. Marie, M.A. Birchall // *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg*. – 2011. – Vol. 19, № 6. – P. 434–438.
110. Mau, T. The natural history of recoverable vocal fold paralysis: Implications for kinetics of reinnervation / T. Mau, H.M. Pan, L.F. Childs // *Laryngoscope*. – 2017. – Vol. 127, № 11. – P. 2585–2590.
111. Miller, B.J. Applications of Office-Based 445 nm Blue Laser Transnasal Flexible Laser Surgery: A Case Series and Review of Practice / B.J. Miller, A. Abdelhamid, Y. Karagama // *Ear Nose Throat J*. – 2021. – Vol. 100, № 1. – P. 105–112.
112. Miller, R.D. Evaluation of obstructing lesions of the trachea and larynx by flow-volume loops / R.D. Miller, R.E. Hyatt // *Am Rev Respir Dis*. – 1973. – Vol. 108, № 3. – P. 475–481.
113. Misiołek, M. Usefulness of laser arytenoidectomy and laterofixation in treatment of bilateral vocal cord paralysis / M. Misiołek, L. Kłębukowski, G. Lisowska // *Otolaryngol Pol*. – 2012. – Vol. 66, № 2. – P. 109–116.

114. Mueller, A.H. Recurrent Laryngeal Nerve Stimulator / A.H. Mueller, C. Pototschnig // *Otolaryngol Clin North Am.* – 2020. – Vol. 53, № 1. – P. 145–156.
115. Muller, A. Impact of vocal cord paralysis on cricoarytenoid joint / A. Muller, F.P. Paulsen // *Ann Otol Rhinol Laryngol.* – 2002. – Vol. 111, № 10. – P. 896–901.
116. Nomenclature proposal to describe vocal fold motion impairment / C.A. Rosen, T. Mau, M. Remacle [et al.] // *Eur Arch Otorhinolaryngol.* – 2016. – Vol. 273, № 8. – P. 1995–1999.
117. Office-Based Treatment of Vocal Fold Polyps and Reinke's Edema: A Rational Comparison With Suspension Laryngoscopy / M. Filauro, A. Ioppi, A. Vallin [et al.] // *Laryngoscope.* – 2023. – Vol. 133, № 10. – P. 2665–2672.
118. Okui, A. Complaints and Complications of Microlaryngoscopic Surgery / A. Okui, U. Konomi, Y. Watanabe // *J Voice.* – 2020. – Vol. 34, № 6. – P. 949–955.
119. Oysu, C. Endoscopic posterior cordotomy with microdissection radiofrequency electrodes for bilateral vocal cord paralysis / C. Oysu, S.Z. Toros, C. Tepe-Karaca // *Otolaryngol Head Neck Surg.* – 2014. – Vol. 150, № 1. – P. 103–106.
120. Pia, F. CO₂ laser posterior ventriculocordectomy for the treatment of bilateral vocal cord paralysis / F. Pia, P. Pisani, P. Aluffi // *Eur Arch Otorhinolaryngol.* – 1999. – Vol. 256, № 8. – P. 403–406.
121. Posterior cordotomy in bilateral vocal cord paralysis using monopolar microelectrodes and radiofrequency in 18 patient / J. Basterra, Y. Castillo-Lopez, R. Reboll [et al.] // *Clin Otolaryngol.* – 2018. – Vol. 43, № 1. – P. 340–343.
122. Prognostic value of laryngeal electromyography in vocal fold paralysis / C. Sittel, E. Stennert, W.F. Thumfart [et al.] // *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* – 2001. – Vol. 127, № 2. – P. 155–160.
123. Prospective evaluation of the clinical utility of laryngeal electromyography / J.W. Ingle, V.N. Young, L.J. Smith [et al.] // *Laryngoscope.* – 2014. – Vol. 124, № 12. – P. 2745–2749.
124. Quantitative determination of cut efficiency during soft tissue surgery using diode lasers in the wavelength range between 400 and 1500 nm / A. Hanke, R.

Fimmers, M. Frentzen [et al.] // *Lasers Med Sci.* – 2021. – Vol. 36, № 8. – P. 1633–1647.

125. Réinnervation laryngée sélective des paralysies bilatérales : une technique applicable à la réhabilitation fonctionnelle d'un larynx transplanté / J. Marie, N. Bon Mardion, M. Moerman [et al.] // *Annales françaises d'Oto-rhino-laryngologie et de Pathologie Cervico-faciale.* – 2014. – Vol. 131, № 4. – P. 480–485.

126. Reinnervation of bilateral posterior cricoarytenoid muscles using the left phrenic nerve in patients with bilateral vocal fold paralysis / M. Li, S. Chen, H. Zheng [et al.] // *PLoS One.* – 2013. – Vol. 8, № 10. – P. 1–12.

127. Reker, U. Modified posterior Dennis and Kashima cordectomy in treatment of bilateral recurrent nerve paralysis / U. Reker, H. Rudert // *Laryngorhinootologie.* – 1998. – Vol. 77, № 4. – P. 213–218.

128. Robinson, P.D. Consensus statement for inert gas washout measurement using multiple- and single- breath tests / P.D. Robinson, P. Latzin, S. Verbanck // *Eur Respir J.* – 2013. – Vol. 41, № 3. – P. 507–522.

129. Rosenthal, L.H. Vocal fold immobility: a longitudinal analysis of etiology over 20 years / L.H. Rosenthal, M.S. Benninger, R.H. Deeb // *Laryngoscope.* – 2007. – Vol. 117, № 10. – P. 1864–1870.

130. Sato, K. Laser arytenoidectomy for bilateral median vocal fold fixation / K. Sato, H. Umeno, T. Nakashima // *Laryngoscope.* – 2001. – Vol. 111, № 1. – P. 168–171.

131. Sercer, A. Zur operativen Therapie chronischer Kehlkopfstenosen / A. Sercer // *Msschr Ohr Laryngorhinol.* – 1936. – Vol. 70. – P. 1153–1158.

132. SF-36 Health Survey. Manual and interpretation guide / J.E. Ware, M. Kosinski, S. Keller [et al.]. – Boston : Health Institute, New England Medical Center, 1993.

133. Single institutional analysis of trends over 45 years in etiology of vocal fold paralysis / S. Takano, T. Nito, N. Tamaruya [et al.] // *Auris Nasus Larynx.* – 2012. – Vol. 39, № 6. – P. 597–600.

134. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement / B.L. Graham, I. Steenbruggen, M.R. Miller [et al.] // *Am J Respir Crit Care Med.* – 2019. – Vol. 200, № 8. – P. 70–88.

135. Su, W.F. Suture lateralisation plus arytenoid cartilage release for treating bilateral vocal fold immobility with mechanical fixation / W.F. Su, M.C. Lan, S.C. Liu // *Acta Otorhinolaryngol Ital.* – 2019. – Vol. 39, № 1. – P. 18–21.

136. Subtotal carbon dioxide laser arytenoidectomy by endoscopic approach for treatment of bilateral cord immobility in adduction / M. Remacle, G. Lawson, A. Mayne [et al.] // *Ann Otol Rhinol Laryngol.* – 1996. – Vol. 105, № 6. – P. 438–445.

137. Subtotal carbon dioxide laser arytenoidectomy for the treatment of bilateral vocal fold immobility: long-term results / I. Plouin-Gaudon, G. Lawson, J. Jamart [et al.] // *Ann Otol Rhinol Laryngol.* – 2005. – Vol. 114, № 2. – P. 115–121.

138. Sun, L. The comparison of arytenoid resection surgical effect between endoscopic laser approach and external cervical approach for bilateral vocal cord fold paralysis / L. Sun, H. Zheng, S. Chen // *Lin Chuang Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi.* – 2015. – Vol. 29, № 12. – P. 1059–1063.

139. Surgery of adult bilateral vocal fold paralysis in adduction: history and trends / N. Sapundzhiev, G. Lichtenberger, H.E. Eckel [et al.] // *Eur Arch Otorhinolaryngol.* – 2008. – Vol. 265, № 12. – P. 1501–1514.

140. Surgical Treatment Applied to Bilateral Vocal Fold Paralysis in Adults: Systematic Review / R.B.S. Almeida, C.C. Costa, E. Lamounier [et al.] // *J Voice.* – 2023. – Vol. 37, № 2. – P. 1–13.

141. The use of CO₂ laser in otolaryngology: a progress report / M.S. Strong, G.J. Jako, C.W. Vaughan [et al.] // *Trans Sect Otolaryngol Am Acad Ophthalmol Otolaryngol.* – 1976. – Vol. 82, № 5. – P. 595–602.

142. The Voice Handicap Index (VHI): Development and Validation / B.H. Jacobson, A. Johnson, C. Grywalski [et al.] // *American Journal of Speech-Language Pathology.* – 1997. – Vol. 6. – P. 66–70.

143. Thornell, W. A new intralaryngeal approach in arytenoidectomy in bilateral abductor paralysis of the vocal cords / W. Thornell // Arch Otolaryngol. – 1949. – Vol. 50. – P. 634–639.
144. Thornell's approach for arytenoidectomy in the surgical treatment of bilateral abductor paralysis; personal experience and results / E. de Campora, A. Camaioni, C. Corradini [et al.] // Laryngol Otol. – 1985. – Vol. 99. – P. 379–382.
145. Titulaer, K. Surgery for bilateral vocal fold paralysis: Systematic review and meta-analysis / K. Titulaer, P. Schlattmann, O. Guntinas-Lichius // Front Surg. – 2022. – Vol. 9. – P. 1–18.
146. Total and Partial Laser Arytenoidectomy for Bilateral Vocal Fold Paralysis / Y. Taner, O.M. Altuntaş, N. Suslu [et al.] // BioMed Research International. – 2016. – Vol. 2016. – P. 1–7.
147. Transoral flexible laser surgery of the upper aerodigestive tract with blue laser / G. Campos, O. Amaya, J. Valencia [et al.] // Eur Arch Otorhinolaryngol. – 2023. – Vol. 280, № 2. – P. 765–774.
148. Treatment of bilateral vocal cord paralysis by hemi-phrenic nerve transfer / W. Song, M. Li, H.L. Zheng, L. Sun [et al.] // Zhonghua Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi. – 2017. – Vol. 52, № 4. – P. 245–252.
149. Treatment of epulis fissuratum with carbon dioxide laser in a patient with antithrombotic medication / L.S. Monteiro, J. Mouzinho, A. Azevedo [et al.] // Braz Dent J. – 2012. – Vol. 23, № 1. – P. 77–81.
150. Tucker, H.M. Long-term results of nerve-muscle pedicle reinnervation for laryngeal paralysis / H.M. Tucker // Ann Otol Rhinol Laryngol. – 1989. – Vol. 98, № 9. – P. 674–676.
151. Unilateral and Bilateral Laryngeal Pacing for Bilateral Vocal Fold Paralysis / M.E. Powell, D.L. Zeale, Y. Li [et al.] // Curr Otorhinolaryngol Rep. – 2020. – Vol. 8, № 4. – P. 395–401.
152. Vocal fold wound healing after injection of human adipose-derived stem cells in a rabbit model / S.J. Hong, S.H. Lee, S.M. Jin [et al.] // Acta Otolaryngol. – 2011. – Vol. 131, № 11. – P. 1198–1204.

153. Volk, G.F. Laryngeal Electromyography / G.F. Volk, O. Guntinas-Lichius // *Adv Otorhinolaryngol.* – 2020. – Vol. 85. – P. 18–24.
154. Wang, W. Laryngeal reinnervation using ansa cervicalis for thyroid surgery-related unilateral vocal fold paralysis: a long-term outcome analysis of 237 cases / W. Wang, D. Chen, S. Chen // *PLoS One.* – 2011. – Vol. 6, № 4. – P. 1–7.
155. Wang, Y.T. The treatment of partial CO₂ laser arytenoidectomy for bilateral vocal fold paralysis / Y.T. Wang, X. Sun, W.Y. Ji // *Lin Chuang Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi.* – 2018. – Vol. 32, № 3. – P. 196–198.
156. Warner, L. Transoral laser microsurgery versus radiotherapy for T2 glottic squamous cell carcinoma: a systematic review of local control outcomes / L. Warner, K. Lee, J.J. Homer // *Clin Otolaryngol.* – 2017. – Vol. 42, № 3. – P. 629–636.
157. Wassermann, K. Stenoses of the upper airways. Lung function, local resistance and load compensation. A review / K. Wassermann, H.E. Eckel // *HNO.* – 1999. – Vol. 47, № 11. – P. 947–956.
158. Werner, J.A. Lateral fixation of the vocal cord instead of tracheotomy in acute bilateral vocal cord paralysis / J.A. Werner, B.M. Lippert // *Dtsch Med Wochenschr.* – 2002. – Vol. 127, № 17. – P. 917–922.
159. Whicker, J.H. Long-term results of Thornell arytenoidectomy in the surgical treatment of bilateral vocal cord paralysis / J.H. Whicker, K.D. Devine // *Laryngoscope.* – 1972. – Vol. 82. – P. 1331–1336.