

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНТРАОПЕРАЦИОННОЙ КРОВОПОТЕРИ
ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ПАРААНГЛИОМ ВИСОЧНОЙ КОСТИ:
СИНИЙ ЛАЗЕР (445 НМ) В ГЕЛИЕВОЙ СРЕДЕ В СРАВНЕНИИ
С ТРАДИЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ**

**^{1,2}Исаченко В. С. ORCID ID 0000-0001-9090-0413,
¹Сотникова К. И. ORCID ID 0000-0002-2163-7524,
¹Блинова М. Л. ORCID ID 0000-0002-2163-7524,
¹Шамкина П. А. ORCID ID 0000-0003-4595-365X**

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: sotnikovakseniya302@gmail.com;

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Параганглиомы височной кости гистологически представляют собой сосудистые новообразования, сформированные плотным переплетением тонкостенных сосудов. Одной из отличительных черт этих образований является выраженная васкуляризация, которая обуславливает как высокий риск интраоперационного кровотечения, так и характерную семиотику при лучевых методах диагностики. Множество десятилетий хирурги пытаются улучшить хирургический инструментарий для максимально бескровного вмешательства. Перспективным инструментом можно считать лазер с длиной волны 445 нм в гелиевой атмосфере. Теоретические предпосылки позволяют ожидать снижение кровопотери за счет двух механизмов: селективного поглощения лазерного излучения гемоглобином и аккуратного воздействия на окружающие ткани благодаря отводу тепловой энергии гелием. Цель. Провести сравнительный анализ интраоперационной кровопотери при удалении параганглиом височной кости с использованием синего лазера в гелиевой среде и традиционных методов (радиочастотный нож). Проанализированы результаты лечения 20 пациентов с параганглиомами височной кости (тип А/В по Fisch). В основную группу вошли 10 пациентов, оперированных комбинацией стандартного инструментария и синего лазера в атмосфере гелия. Группу контроля составили 10 пациентов, оперированных с использованием радиочастотного ножа. Группы были подобраны по заранее заданным клиническим параметрам. Средняя интраоперационная кровопотеря в основной группе составила $31,5 \pm 6,8$ мл, в контрольной группе $64,2 \pm 18,5$ мл ($p < 0,001$). В основной группе кровопотеря носила равномерный капиллярный характер, во всех случаях удалось сохранить цепь слуховых косточек. В контрольной группе у 2 пациентов наблюдались эпизоды пульсирующего кровотечения. Применение синего лазера (445 нм) в атмосфере гелия позволяет уменьшить интраоперационную кровопотерю при удалении параганглиом височной кости небольших размеров, обеспечивает оптимальную визуализацию операционного поля и создает безопасные условия для работы вблизи структур среднего уха.

Ключевые слова: гломусная опухоль, интраоперационная кровопотеря, хирургия среднего уха, гемостаз, малоинвазивные технологии, селективное поглощение гемоглобином.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF INTRAOPERATIVE BLOOD LOSS DURING SURGICAL
TREATMENT OF TEMPORAL BONE PARAGANGLIOMAS: BLUE LASER (445 NM) IN
A HELIUM ENVIRONMENT COMPARED TO TRADITIONAL METHODS**

**^{1,2}Isachenko V. S. ORCID ID 0000-0001-9090-0413,
¹Sotnikova K. I. ORCID ID 0000-0002-2163-7524,
¹Blinova M. L. ORCID ID 0000-0002-2163-7524,
¹Shamkina P. A. ORCID ID 0000-0003-4595-365X**

¹ Federal State Budgetary Institution "Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russian Federation, e-mail: sotnikovakseniya302@gmail.com;

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint Petersburg State University", Saint Petersburg, Russian Federation

Paragangliomas of the temporal bone are histologically vascular neoplasms formed by a dense intertwining of thin-walled vessels. One of the distinctive features of these formations is pronounced vascularization, which causes both a high risk of intraoperative bleeding and the characteristic semiotics of radiation diagnostic methods. For many decades, surgeons have been trying to improve surgical instruments for the most bloodless intervention. A laser with a wavelength of 445 nm in a helium atmosphere can be considered a promising instrument. Theoretical prerequisites allow us to expect a reduction in blood loss due to two mechanisms: selective absorption of laser radiation by hemoglobin and a careful effect on surrounding tissues due to the removal of thermal energy by helium. Objective. To conduct a comparative analysis of intraoperative blood loss during removal of temporal bone paragangliomas using a blue laser in a helium medium and traditional methods (radiofrequency knife). The results of treatment of 20 patients with temporal bone paragangliomas (type A/B according to Fisch) were analyzed. The main group included 10 patients operated with a combination of standard instruments and a blue laser in a helium atmosphere. The control group consisted of 10 patients operated using a radiofrequency knife. The groups were selected according to predefined clinical parameters. The average intraoperative blood loss in the main group was 31.5 ± 6.8 ml, in the control group — 64.2 ± 18.5 ml ($p < 0.001$). In the main group, blood loss was uniform in capillary pattern, and in all cases, the chain of auditory ossicles was preserved. In the control group, 2 patients had episodes of pulsating bleeding. The use of a blue laser (445 nm) in a helium atmosphere reduces intraoperative blood loss during the removal of small temporal bone paragangliomas, ensures optimal visualization of the surgical field and creates safe working conditions near the structures of the middle ear.

Keywords: glomous tumor, intraoperative blood loss, middle ear surgery, hemostasis, minimally invasive technologies, selective hemoglobin absorption.

Введение

Параганглиомы (или, как их принято называть, «гломусные опухоли») височной кости представляют собой доброкачественные новообразования, формирующиеся из параганглионарной ткани. При прорастании в пределах височной кости они чаще ассоциированы с нервом Якобсона, областью луковицы яремной вены или внутренней сонной артерией [1-3]. Анализ эпидемиологических данных свидетельствует о частоте встречаемости данной патологии на уровне 1 случая на 1-1,3 миллиона населения, патология преобладает у женщин в возрасте 40-50 лет [4]. Именно богатая васкуляризация делает параганглиому одной из самых сложных патологий в отохирургии [5; 6]. Плотная капиллярная сеть, питающая опухоль, обуславливает возникновение кровотечения в ответ на любое инструментальное воздействие. Это может не только угрожать жизни пациента, но и способствовать повреждению цепи слуховых косточек и лицевого нерва, оставляя хирургу короткий промежуток времени на принятие решения. Если разбирать новообразование гистологически, то оно представляет собой конгломераты главных клеток, окруженных поддерживающими клетками и обширной капиллярной сетью, которая создает характерный ретикулярный вид. Именно эта капиллярная сеть становится источником диффузного кровотечения при механическом воздействии на опухоль. По данным литературы, кровопотеря при удалении распространенных параганглиом височной кости может быть значительной [7-9]. Обильное кровотечение в ограниченном пространстве не только увеличивает продолжительность операции и требует постоянного гемостаза, но и ухудшает визуализацию операционного поля, повышая риск повреждения окружающих структур: лицевого нерва, слуховых косточек, окон лабиринта [10]. Современный арсенал методов снижения интраоперационной кровопотери при удалении параганглиом височной кости включает как предоперационные, так и

интраоперационные подходы, однако каждый из них обладает рядом недостатков, ограничивающих их применение.

Предоперационная селективная эмболизация питающих сосудов новообразования представляет собой методику, клиническая целесообразность которой остаётся предметом дискуссий [11]. С одной стороны, процедура позволяет редуцировать кровоток в опухоли, что потенциально снижает риск интраоперационного кровотечения и улучшает визуализацию операционного поля. С другой стороны, эмболизация сопряжена с риском ишемических осложнений со стороны лицевого нерва и структур внутреннего уха, а также с возможностью неполной окклюзии питающих сосудов и последующего рецидива кровоснабжения. Кроме того, сама процедура несёт риски, связанные с селективной катетеризацией церебральных сосудов (перфорация, тромбоэмболия, диссекция). Принципиальное значение имеет размер опухоли. При небольших параганглиомах (тип А и В по классификации Fisch) эмболизация, как правило, нецелесообразна: риск процедурных и ишемических осложнений зачастую превышает потенциальную пользу, а адекватный гемостаз может быть достигнут первично хирургическим путём [2]. Напротив, при распространённых образованиях (тип С и D) высокая степень васкуляризации делает интраоперационный гемостаз чрезвычайно сложным; в этих случаях предоперационная эмболизация может снизить кровопотерю и улучшить радикальность удаления, причём потенциальная польза нередко перевешивает риски [11]. Таким образом, решение о проведении эмболизации должно приниматься индивидуально с учётом типа опухоли по Fisch, её ангиоархитектоники и опыта хирургической команды.

Но что же с методами интраоперационного гемостаза? Биполярная коагуляция и радиочастотный нож (основные инструменты интраоперационного гемостаза в современной отохирургии) обеспечивают достаточно эффективную остановку кровотечения, но ценой неизбежного термического повреждения окружающих тканей. Биполярная коагуляция, при всей своей распространенности и относительной безопасности, работает за счет пропускания высокочастотного электрического тока между двумя браншами инструмента, что приводит к нагреву тканей и их денатурации. При работе в непосредственной близости от лицевого нерва (эпиневрий которого чрезвычайно чувствителен к нагреву) или от подножной пластинки стремени, передающей тепловую энергию на структуры внутреннего уха, такое термическое воздействие может приводить к необратимым функциональным нарушениям: парезу лицевой мускулатуры или сенсоневральной тугоухости вплоть до анакузии. Радиочастотный нож, использующий более высокочастотный ток, работает по принципу создания внутриклеточного пара при низких температурах, что делает его несколько более точным в своем воздействии по сравнению с традиционной монополярной или биполярной коагуляцией. Однако при обильном диффузном капиллярном кровотечении, которое как раз характерно для параганглиом,

эффективность радиочастотного ножа существенно снижается: кровь экранирует электрод, поглощает часть энергии, и коагуляция становится неглубокой и ненадежной. В таких ситуациях хирург вынужден либо повышать мощность (что увеличивает зону термического повреждения), либо прибегать к использованию дополнительных гемостатических материалов - коллагеновых губок, оксидированной регенерированной целлюлозы (Surgicel), фибриновых клеев, которые, однако, не всегда хорошо работают в условиях постоянного подтекания крови и могут создавать дополнительный объем, затрудняющий визуализацию [12].

Существует также такой аппарат, как ультразвуковой диссектор (например, Harmonic Scalpel), который генерирует механические колебания с частотой 55,5 кГц, что приводит к одновременному разрезанию и коагуляции тканей за счет трения и денатурации белка. Этот инструмент, успешно зарекомендовавший себя в абдоминальной, торакальной и онкологической хирургии, в ограниченном пространстве среднего уха применяется реже, и на то есть веские причины. Во-первых, зона термического воздействия ультразвукового диссектора составляет до 1-2 мм, что в анатомии височной кости, где расстояния между критическими структурами измеряются миллиметрами и даже долями миллиметра, является неприемлемо большой. Во-вторых, ультразвуковые диссекторы имеют относительно массивную рабочую часть, что затрудняет манипуляции в узком костном канале, тимпанальной полости или в области ниши окна преддверия. В-третьих, вибрация рабочего наконечника может механически повреждать слуховые косточки, особенно при случайном контакте с длинным отростком наковальни или головкой молоточка [12].

Все перечисленные ограничения существующих методов - неизбежное термическое повреждение, низкая эффективность при диффузном капиллярном кровотечении, громоздкость инструментов, риск механической и температурной травмы критических структур - диктуют необходимость поиска новых и новых решений, способных обеспечить эффективный гемостаз без грубого термического или механического повреждения окружающих тканей. Именно в этом контексте особый интерес представляют лазерные технологии, которые уже несколько десятилетий развиваются в медицине, но лишь относительно недавно начали находить свое место в отохирургии [13]. Одним из наиболее перспективных направлений является применение синего лазера с длиной волны 445 нм, обладающего уникальным свойством селективного воздействия на гемоглобин. Дело в том, что максимум поглощения гемоглобина находится в синем и зеленом спектрах, поэтому синий лазер с длиной волны 445 нм поглощается преимущественно оксигенированным гемоглобином, что обеспечивает эффективную коагуляцию сосудов на глубине до 0,8-1,0 мм практически без повреждения прилежащих тканей, не содержащих большого количества крови [14-16]. Глубина проникновения лазерного излучения 445 нм в мягкие ткани не

превышает 1 мм, что критически важно при работе вблизи лицевого нерва, слуховых косточек или окон лабиринта - риск коллатерального термического повреждения минимален [17].

Однако даже столь перспективная технология имеет ограничение: при работе на воздухе лазерный луч вызывает не только коагуляцию, но и частичную карбонизацию (обугливание) тканей, что сопровождается образованием дыма, снижением прозрачности операционного поля и необходимостью частой очистки оптики. Дополнительным преимуществом используемого в данной работе подхода является возможность работы в атмосфере инертного газа - гелия. Гелий обладает высокой теплопроводностью (в 6 раз выше, чем у воздуха, и примерно в 5 раз выше, чем у аргона), что обеспечивает чрезвычайно эффективную эвакуацию тепловой энергии из зоны лазерного воздействия. В результате температура в прилежащих тканях остается значительно ниже, чем при работе на воздухе, что предотвращает нежелательное распространение тепла за пределы целевой зоны. Помимо отвода тепла, поток гелия, подаваемый коаксиально через тот же световод, буквально «сдувает» с поверхности ткани микроскопические частицы дыма и пара, образующиеся при абляции, поддерживая высокую степень визуализации операционного поля без дополнительных манипуляций [18]. Отсутствие карбонизации и дыма означает, что хирург не тратит время на протирание объектива микроскопа или эндоскопа и не делает лишних пауз для аспирации дыма, что в совокупности снижает общее время операции и утомляемость хирурга. Таким образом, комбинация синего лазера (445 нм) с подачей гелия создает уникальный синергический эффект. С одной стороны, селективное поглощение гемоглобином обеспечивает эффективную коагуляцию сосудистой сети параганглиомы с минимальной глубиной повреждения, а с другой стороны, активное охлаждение гелием предотвращает карбонизацию и распространение тепла на соседние анатомические структуры - лицевой нерв, слуховые косточки, окна лабиринта, улучшая визуализацию и повышая безопасность вмешательства [19; 20]. Именно эти теоретические предпосылки и отдельные экспериментальные данные послужили основанием для проведения настоящего клинического исследования, направленного на сравнение эффективности и безопасности синего лазера в гелиевой атмосфере с традиционным методом - радиочастотным ножом.

Столкновение с такой обильно кровоточащей опухолью, как параганглиома височной кости, неизбежно порождает скептицизм в отношении любых новых методов лечения: даже самые перспективные лазерные технологии на первый взгляд могут показаться недостаточно эффективной помощью перед лицом потенциальных осложнений: массивного кровотечения, повреждения лицевого нерва, слуховых косточек или структур внутреннего уха. Хирург, работающий в ограниченном пространстве барабанной полости, вынужден принимать решения за доли секунды, и любой новый инструмент требует не только доказательств своей

эффективности, но и убедительного профиля безопасности. Тем не менее проведенное исследование, основанное на анализе 20 клинических наблюдений, позволяет с известной долей осторожности предположить, что применение синего лазера с длиной волны 445 нм в гелиевой атмосфере способно если не полностью исключить, то значительно минимизировать риски, традиционно сопровождающие хирургию этой патологии. Его преимущества позволяют рассматривать синий лазер как потенциально равноценную или даже более предпочтительную альтернативу по сравнению с уже зарекомендовавшими себя способами: радиочастотной хирургией, биполярной коагуляцией и ультразвуковой диссекцией. Однако до настоящего времени отсутствовали прямые сравнительные данные об интраоперационной кровопотере при удалении параганглиом височной кости с использованием лазерной технологии в гелиевой среде versus традиционными методами. Восполнению этого пробела и посвящена настоящая работа.

Целью исследования явился сравнительный анализ интраоперационной кровопотери при удалении параганглиом височной кости с использованием синего лазера (445 нм) в гелиевой атмосфере и традиционного метода - радиочастотного ножа.

Материалы и методы исследования

Проведено проспективное параллельное сравнительное исследование, включавшее 20 пациентов с параганглиомами височной кости типов А и В по классификации Fisch. Исследование выполнено на базе ФГБУ «СПб НИИ ЛОР» в период с 2023 по 2025 год. Дизайн исследования одобрен локальным этическим комитетом ФГБУ «СПб НИИ ЛОР» (протокол № 7 от 17.10.2024). Все пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

Критериями включения в исследование являлись: возраст пациентов от 18 до 75 лет включительно; наличие параганглиомы височной кости типа А (тимпанальная форма, ограниченная барабанной полостью) или типа В (тимпано-мастоидальная форма с распространением в антрум и ячейки сосцевидного отростка) по классификации Fisch; отсутствие признаков распространения опухоли в яремное отверстие, полость черепа или вдоль внутренней сонной артерии, что подтверждено данными компьютерной томографии и магнитно-резонансной томографии с внутривенным контрастированием; а также подписанное добровольное информированное согласие на хирургическое вмешательство и участие в исследовании. Критериями исключения служили: параганглиомы типов С и D по Fisch (с распространением на яремное отверстие, канал сонной артерии или интракраниально); рецидивные опухоли после ранее проведенного хирургического или лучевого лечения; тяжелая сопутствующая соматическая патология в стадии декомпенсации, исключающая плановое хирургическое вмешательство под общей анестезией (декомпенсированная

сердечно-сосудистая, дыхательная, почечная или печеночная недостаточность); коагулопатии и нарушения системы гемостаза, в том числе прием антикоагулянтов или антиагрегантов, не подлежащих временной отмене; беременность и период лактации; а также отказ пациента от участия в исследовании на любом этапе.

Основную группу составили 10 пациентов, оперированных с применением синего лазера с длиной волны 445 нм в гелиевой атмосфере. Использовался диодный лазер TruBlue (A.R.C. Laser GmbH, Германия) с системой подачи гелия. Параметры воздействия подбирались индивидуально в зависимости от этапа операции: применялся постоянный бесконтактный режим, мощность составляла 1,5-3 Вт, расстояние до тканей 3-7 мм, расход гелия 5-8 л/мин. Контрольную группу составили 10 пациентов, оперированных с использованием радиочастотного ножа «Сургитрон» (Ellman International, США) в режимах «резание» (мощность 15-30 Вт) и «коагуляция» (мощность 15-25 Вт). Распределение пациентов в группы проводилось последовательно по мере поступления (метод конвертов), группы формировались параллельно.

Основным оцениваемым показателем (первичный исход) была интраоперационная кровопотеря, которая оценивалась по объему крови в аспираторе. Измерение проводилось после завершения основного этапа удаления опухоли и окончательного гемостаза, при этом из общего объема аспирата вычитался объем промывной жидкости (стерильный физиологический раствор), использованной в ходе операции для орошения операционного поля. Промывная жидкость дозировалась известным объемом с помощью шприцев. Дополнительно фиксировались следующие вторичные параметры: характер кровотечения (капиллярное, венозное или артериальное); наличие эпизодов пульсирующего кровотечения; необходимость применения дополнительных гемостатических средств (биполярная коагуляция, гемостатическая губка Surgicel, временная тампонада); сохранность цепи слуховых косточек (интактная цепь либо с разъединением и последующей оссикулопластикой); продолжительность операции в минутах (от первого разреза до наложения последнего шва); интраоперационные осложнения (перфорация барабанной перепонки, повреждение лицевого нерва по данным нейромониторинга с регистрацией порога стимуляции выше 0,5 мА, люксация или перелом стремени), отмечались особенности раннего послеоперационного периода (головокружение, шум, заживление). Для объективизации визуализации операционного поля фиксировались: частота аспирации (количество аспирационных циклов в минуту), время, затраченное на гемостаз (в минутах), количество смен/очисток оптики эндоскопа или микроскопа за время операции. Оценка качества визуализации проводилась по 5-балльной шкале (от 1 - крайне плохая до 5 - отличная) на каждом этапе вмешательства. Всем пациентам выполнялась тональная пороговая аудиометрия

до операции и через 1 месяц после вмешательства с оценкой порогов воздушного и костного проведения. Функция лицевого нерва оценивалась по шкале House-Brackmann до операции, на 3-и сутки и через 1 месяц после операции. Для сравнения групп применялся U-критерий Манна – Уитни. Ввиду небольшого объема выборки исследование позиционируется как пилотное, расчет мощности выборки не проводился. Статистический анализ выполнен с использованием программного обеспечения IBM SPSS Statistics 26.0. Для всех показателей рассчитаны медиана (Me), интерквартильный размах (Q1-Q3), среднее арифметическое (M) и стандартное отклонение (SD). Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Группы были сопоставимы по основным клиническим параметрам. Средний возраст пациентов составил $54,8 \pm 11,4$ года в основной группе и $55,2 \pm 10,8$ года в контрольной. Преобладали женщины (100% в основной группе и 90% в контрольной), что соответствует известной эпидемиологии параганглиом. Распределение по классу опухоли было идентичным: по 4 пациента с типом А и по 6 пациентов с типом В в каждой группе. Исходный средний порог воздушного проведения в основной группе составлял $51,3 \pm 16,8$ дБ, в контрольной $50,8 \pm 15,4$ дБ ($p = 0,82$, $U = 48,5$). Пульсирующий шум в ухе отмечался у всех пациентов обеих групп.

В основной группе кровопотеря носила равномерный капиллярный характер во всех 10 наблюдениях. Лазерное воздействие обеспечивало моментальную коагуляцию по ходу воздействия на стенки образования. Хирург отмечал, что при подведении световода к ткани опухоли происходило ее побледнение и образование коагуляционного струпа почти без образования дыма благодаря гелиевой атмосфере. Это позволяло работать в более «сухом» операционном поле без частых пауз для аспирации. Частота аспирации в основной группе составила $1,8 \pm 0,4$ цикла/мин. против $3,5 \pm 0,9$ цикла/мин. в контрольной ($p = 0,002$, $U = 15,0$). Время, затраченное на гемостаз, в основной группе равнялось $4,2 \pm 1,3$ мин. против $9,6 \pm 3,1$ мин. в контрольной ($p = 0,001$, $U = 12,5$). Количество очисток оптики составило $1,2 \pm 0,4$ в основной группе и $4,8 \pm 1,6$ в контрольной ($p < 0,001$, $U = 6,0$). Средняя оценка визуализации по 5-балльной шкале в основной группе составила $4,6 \pm 0,5$ балла, в контрольной $3,2 \pm 0,8$ балла ($p = 0,003$, $U = 14,0$). У 3 пациентов с типом В, где опухоль распространялась к области луковичной яремной вены, возникало умеренное венозное кровотечение, которое останавливалось кратковременным воздействием лазера в режиме повышенной мощности (4 Вт) и повышенного времени воздействия, а также в ход шли биполярный коагулятор и/или гемостатический материал Surgicel.

В контрольной группе у 6 пациентов (60%) отмечалось диффузное капиллярное кровотечение, требующее постоянной аспирации. У 2 пациентов (20%) с типом В наблюдались эпизоды пульсирующего артериального кровотечения из области тимпанального устья

слуховой трубы. В одном случае кровотечение удалось остановить повторной коагуляцией радионожом, во втором потребовалась тампонада гемостатической губкой Surgicel с экспозицией 3 минуты. У одного пациента кровопотеря достигла 95 мл, что потребовало более длительного гемостаза и временной тампонады раны.

В обеих группах кровопотеря ожидаемо была выше при типе В по сравнению с типом А. В основной группе при типе А кровопотеря составила $27,5 \pm 4,5$ мл, при классе В - $34,2 \pm 6,8$ мл. В контрольной группе эти показатели равнялись $48,5 \pm 8,7$ и $74,8 \pm 16,2$ мл соответственно. Важно отметить, что даже при распространенных формах (тип В) кровопотеря в основной группе была ниже, чем при ограниченных формах (тип А) в контрольной группе: $34,2 \pm 6,8$ мл против $48,5 \pm 8,7$ мл.

Применение синего лазера в гелиевой атмосфере позволило снизить интраоперационную кровопотерю в 2,04 раза по сравнению с использованием радиочастотного ножа. Средняя кровопотеря в основной группе составила $31,5 \pm 6,8$ мл при медиане 30,0 мл (Q1-Q3: 26,8-33,5), в контрольной группе $64,2 \pm 18,5$ мл (Q1-Q3: 48,5-79,3) ($p < 0,001$, $U = 2,0$; 95% ДИ для разницы средних: от 20,1 до 45,3 мл; размер эффекта Коэна $d = 2,34$). Минимальная кровопотеря в основной группе равнялась 25 мл, максимальная - 45 мл, тогда как в контрольной группе эти показатели составили 40 и 95 мл соответственно.

В основной группе цепь слуховых косточек удалось сохранить у 8 пациентов (80%). Благодаря четкому воздействию лазера и отсутствию грубого механического давления удавалось отделить опухоль от наковальни и молоточка даже в тех случаях, когда она их окутывала. У 2 пациентов с параганглиомой типа В потребовалось разъединение наковальне-стременного сочленения для лучшего доступа, цепь слуховых косточек после удаления восстанавливалась при помощи постановки частичного титанового протеза. В контрольной группе цепь слуховых косточек сохранена у 6 пациентов (60%). У 4 пациентов с типом В, где опухоль плотно окутывала область наковальне-стременного сочленения, при попытке диссекции произошло повреждение длинного отростка наковальни, что потребовало ее удаления с последующей оссикулопластикой.

Функция лицевого нерва по шкале House-Brackmann до операции у всех пациентов обеих групп соответствовала I степени. На 3-и сутки после операции в основной группе у всех пациентов сохранялась I степень; в контрольной группе у 2 пациентов (20%) отмечено временное снижение до II степени с полным восстановлением к первому месяцу. Через 1 месяц после операции у всех пациентов обеих групп функция лицевого нерва соответствовала I степени. Результаты аудиометрии: через 1 месяц после операции средний порог воздушного проведения в основной группе составил $42,5 \pm 14,2$ дБ (улучшение на 8,8 дБ по сравнению с

дооперационным), в контрольной группе $47,3 \pm 16,1$ дБ (улучшение на 3,5 дБ). Различия между группами по послеоперационным порогам статистически не значимы ($p = 0,48$, $U = 42,0$).

В послеоперационном периоде в основной группе все пациенты отмечали гладкое течение. Никто не жаловался на головокружение или шаткость при ходьбе. Уже на 2-е сутки пациенты начинали слышать шепотную речь через тампонаду. Слух после удаления тампонов на 8-9-е сутки субъективно улучшился у всех пациентов. В контрольной группе у 2 пациентов в первые сутки после операции отмечалось легкое головокружение, купировавшееся самостоятельно. Сроки наблюдения составили месяц после операции у всех пациентов, данные за этот период представлены полностью.

Заключение

Применение синего лазера с длиной волны 445 нм в гелиевой атмосфере демонстрирует сопоставимые с традиционным методом результаты в отношении интраоперационной кровопотери при удалении параганглиом височной кости: $31,5 \pm 6,8$ мл в основной группе против $64,2 \pm 18,5$ мл в контрольной ($p < 0,001$). Кровопотеря при использовании лазера, как правило, носит равномерный капиллярный характер и реже требует дополнительных гемостатических мероприятий, что в отдельных случаях может создавать более комфортные условия для работы вблизи критических структур среднего уха. Отмеченное преимущество лазерной методики в равной степени проявляется как при ограниченных (тип А), так и при распространенных формах (тип В) параганглиом.

В отношении сохранения цепи слуховых косточек лазерный метод продемонстрировал результаты, сопоставимые с традиционным подходом (80% против 60%), что позволяет рассматривать его как адекватную альтернативу. Точность лазерного воздействия дает возможность отделять опухоль от косточек даже при их тесном контакте, однако аналогичные результаты достижимы и при использовании радиножа в руках опытного хирурга.

В отношении безопасности вмешательства следует отметить, что в исследуемой малой выборке не зарегистрировано случаев стойкого повреждения лицевого нерва, глубокой сенсоневральной тугоухости или других серьезных осложнений. Однако окончательные выводы о безопасности требуют подтверждения в крупных рандомизированных исследованиях с длительным периодом наблюдения.

Таким образом, синий лазер в гелиевой атмосфере представляет собой еще один рабочий инструмент в арсенале отохирурга, который по ключевым параметрам - кровопотере, сохранению анатомических структур и частоте осложнений - демонстрирует результаты, не уступающие традиционным методам, а по некоторым показателям обнаруживает умеренное преимущество, не претендуя, однако, на роль безусловного лидера. Окончательный выбор

методики должен определяться конкретной клинической ситуацией, предпочтениями хирурга и доступностью оборудования.

Ограничения исследования

Полученные результаты должны интерпретироваться с учетом следующих ограничений. Небольшой объем выборки ($n = 10$ в каждой группе) не позволяет экстраполировать выводы на всю популяцию пациентов с параганглиомами височной кости; исследование позиционируется как пилотное и требует подтверждения на более крупных выборках. Отсутствие рандомизации (распределение по методу конвертов) не исключает влияния систематических ошибок, хотя группы были сопоставимы по основным параметрам. Ограниченный период наблюдения (1 месяц) не позволяет оценить отдаленные результаты функционального исхода (сохранность слуха, рецидивы). Исследование включало только опухоли типов А и В по Fisch; выводы не могут быть спроецированы на более распространенные формы (типы С и D). Оценка кровопотери по объему аспирата является косвенным методом и может быть менее точной по сравнению с гравиметрическим методом.

Список литературы

1. Sweeney A. D., Carlson M. L., Wanna G. B., Bennett M. L. Glomus tympanicum tumors // Otolaryngologic Clinics of North America. 2015. Vol. 48 (2). P. 293-304. DOI: 10.1016/j.otc.2014.12.004.
2. Łukawska-Popieluch I., Bartoszewicz R., Morawski K., Niemczyk K. Glomus tympanicum - clinical characteristics and surgical management // Pol Otorhino Rev. 2018. Vol. 7 (1). P. 8-15. DOI: 10.5604/01.3001.0011.6792.
3. Richter S., Constantinescu G., Fancello G. et al. Head and neck paragangliomas: recent advances in translational and clinical research and guidelines for patient care // Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism. 2024. Vol. 38 (6). P. 101951. DOI: 10.1016/j.beem.2024.101951.
4. Al Subhi A.R., Boyle V., Elston M.S. Systematic review: incidence of pheochromocytoma and paraganglioma over 70 years // Journal of the Endocrine Society. 2022. Vol. 6 (9). Article: bvac105. DOI: 10.1210/jendso/bvac105.
5. Jackson C. G., Glasscock M. E., Harris P. F. Glomus tumors: diagnosis, classification and management of large lesions // Arch Otolaryngol. 1982. Vol. 108 (7). P. 401-410. DOI: 10.1001/archotol.1982.00790550005002.
6. Valero C., Ganly I., Shah J. P. Head and neck paragangliomas: 30-year experience // Head & neck. 2020. Vol. 42 (9). P. 2486–2495. DOI: 10.1002/hed.26277.

7. Kadri P. A. S., Ibn Essayed W., Al-Mefty O. Preservation of cranial nerves function in glomus jugulare surgery: 2 dimensional operative video // *Operative Neurosurgery*. 2022. Vol. 22 (1). P. e43. DOI: 10.1227/ONS.0000000000000021.
8. Yilala M. H., Fancello G., Fancello V., Lauda L., Sanna M. Long-Term Surgical Outcome of Class A and B Tympanomastoid Paragangliomas // *Cancers (Basel)*. 2024. Vol. 16 (8). P. 1466. DOI: 10.3390/cancers16081466.
9. Killeen D. E., Wick C. C., Hunter J. B., Rivas A., Wanna G. B., Nogueira J. F., Kutz J. W., Isaacson B. Endoscopic Management of Middle Ear Paragangliomas: A Case Series // *Otol Neurotol*. 2017. Vol. 38 (3). P. 408-415. DOI: 10.1097/MAO.0000000000001320.
10. Аникин И. А., Комаров М. В. Отдаленные результаты хирургического лечения отиатрической формы параганглиом височной кости // *Российская оториноларингология*. 2012. № 4. С. 22-26. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otdalennye-rezultaty-hirurgicheskogo-lecheniya-otiatricheskoy-formy-paragangliom-visochnoy-kosti> (дата обращения 18.06.2026).
11. Long Z., Su Y. H., Zhu J. B., Yao Q. S., Feng Z., Chen P. Y., Liang Y. F., Zhu F., Ning Y. Preoperative embolization of head and neck tumors: a systematic review and meta-analysis // *World J. Surg Oncol*. 2025. Vol. 23 (1). P. 242. DOI: 10.1186/s12957-025-03901-3.
12. Fyrmpas G., Tsetsos N., Katotomichelakis M., Rudic M. Lasers in endoscopic middle ear surgery: where do we stand today? // *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2021. Vol. 278 (11). P. 4169-4177. DOI: 10.1007/s00405-021-06807-4.
13. Karkos P. D., Koskinas I. S., Triaridis S., Konstantinidis J. Lasers in otolaryngology: Laser odyssey from carbon dioxide to true blue // *Ear, Nose & Throat Journal*. 2021. Vol. 100 (1_suppl). P. 1S-3S. DOI: 10.1177/0145561320951681.
14. Hess M., Fleischer S. Photoangiolytic Lasers in Laryngology // *Laryngorhinootologie*. 2020. Vol. 99 (9). P. 607-612. DOI: 10.1055/a-1071-0410.
15. Козырева Е. Е., Шамкина П. А., Ильина В. А., Чуфистова А. В. Экспериментальное исследование параметров и методик хирургического воздействия лазера с длиной волны излучения 445 нм // *Российская оториноларингология*. 2021. Т. 20 (6). С. 60-63. DOI: 10.18692/1810-4800-2021-6-60-63.
16. Gobbo M., Bussani R., Perinetti G., Rupel K., Bevilacqua L., Ottaviani G., Biasotto M. Blue diode laser versus traditional infrared diode laser and quantic molecular resonance scalpel: clinical and histological findings after excisional biopsy of benign oral lesions (Erratum) // *Journal of Biomedical Optics*. 2019. Vol. 24 (2). Article 029803. DOI: 10.1117/1.JBO.24.2.029803.
17. Кривопапов А. А., Шамкина П. А., Ильина В. А., Козырева Е. Е., Панченко П. И. Применение лазера с длиной волны 445 нм в хирургии гортани: экспериментальное

исследование // Российская оториноларингология. 2022. Т. 21 (5). С. 47–54. DOI: 10.18692/1810-4800-2022-5-47-54.

18. Noel J. E., Sajjadi H. KTP-laser-assisted endoscopic management of glomus tympanicum tumors: A case series // Ear Nose Throat J. 2018. Vol. 97 (12). P. 399-402. DOI: 10.1177/014556131809701209.

19. Диаб Х. М., Дайхес Н. А., Умаров П. У., Пашнина О. А., Загорская Д. А. Использование фотоангиолитического лазера при хирургическом лечении параганглиомы височной кости // Голова и шея. Российский журнал Head and neck Russian Journal. 2019. Т. 7 (4). С. 27–32. DOI: 10.25792/HN.2019.7.4.27-32.

20. Загорская Д. А. Хирургическое лечение больных с параганглиомой височной кости с использованием фотоангиолитического диодного лазера: дис. ... канд. мед. наук. Москва, 2025. 151 с.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.