

© Team of authors, 2022 / © Коллектив авторов, 2022

## Applications of Diode Laser in Stapes Surgery

S.A. Karpishchenko, M.Y. Ulupov, O.N. Sopko, A.N. Bervinova

Department of Otorhinolaryngology, FSBEI HE St. Petersburg State Medical University named after Acad. I.P. Pavlov, St. Petersburg, Russia  
Contacts: Karpishchenko Sergey Anatolievich - e-mail: karpishchenkos@mail.ru

## Возможности применения диодного лазера в хирургии стремени

С.А. Карпищенко, М.Ю. Улулов, О.Н. Сопко, А.Н. Бервинова

Кафедра оториноларингологии с клиникой ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия  
Контакты: Карпищенко Сергей Анатольевич – e-mail: karpishchenkos@mail.ru

## 二极管激光在镫骨手术中的应用

S.A. Karpishchenko, M.Y. Ulupov, O.N. Sopko, A.N. Bervinova

Department of Otorhinolaryngology, FSBEI HE St. Petersburg State Medical University named after Acad. I.P. Pavlov, St. Petersburg, Russia  
通讯作者: Karpishchenko Sergey Anatolievich – e-mail: karpishchenkos@mail.ru

Doi: 10.25792/HN.2022.10.3.8-14

**Purpose of the study.** The aim of our study was to estimate the efficacy and safety of high-power short-pulse mode 0.98  $\mu\text{m}$  diode laser stapedoplasty based on the functional results.

**Material and methods.** Patients with tympanic otosclerosis ( $n=20$ ) underwent laser stapedoplasty under local anesthesia using Teflon piston prosthesis. A diode laser with a wavelength of 0.98  $\mu\text{m}$  was used in a contact short-pulse mode at a high output power (30 W 30 ms). Before the surgical intervention, the laser light guide was prepared by activation on a wooden spatula (5 pulses) to create carbon particles at the end that well absorb laser radiation with a wavelength of 0.98  $\mu\text{m}$ . Number of pulses for perforating the stapes footplate was 2–3 impulses. To assess the possible damage of the inner ear and the functional results of the intervention, we performed audiometric test on the 7th day, after 1, 3, and 6 months. In addition, to assess the state of the inner ear during surgery, an assessment of vestibular reactions was carried out – a sense of falling, short-term dizziness (up to 10 seconds), long-term dizziness (more than 10 seconds), as well as an assessment of the nystagmus.

**Results.** Improvement of hearing thresholds for air conduction (AC) and closure of the bone-air gap (ABG) were obtained in patients in the postoperative period. Median values of hearing thresholds for AC: before surgery –  $25 \pm 11.1$  dB, after 1 month – 16.2 dB (Me), after 3 months – 15 dB (Me), and after 6 months – 15 dB (Me). When assessing hearing thresholds by AC (PTA) before and after the intervention, a statistically significant difference in the direction of decreasing the thresholds ( $p < 0.05$ ) was obtained using the paired Student's *t* test. After 6 months, ABG closure of less than 20 dB was observed in all patients (100%), less than 15 dB – in 18 patients (90%) at frequencies of 0.5–4.0 kHz. In the postoperative period, no vestibular disorders and no increase in bone conduction (BC) hearing thresholds at high frequencies were observed, which indicates the absence of damage to the inner ear.

**Conclusion.** Piston stapedoplasty using a diode laser with a wavelength of 0.98  $\mu\text{m}$  allows achieving “excellent” ( $\text{ABG} \leq 10$  dB) functional results in 80% of patients with otosclerosis 6 months after surgery. Intraoperatively and in the early postoperative period, the patients did not demonstrate vestibular disorders or a significant decrease in hearing thresholds at high frequencies, which indicates the safety of the proposed technique.

**Key words:** laser stapedoplasty, piston stapedoplasty, otosclerosis, 980 nm diode laser, conductive hearing loss

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Funding.** There was no funding for this study.

**For citation:** Karpishchenko S.A., Ulupov M.Y., Sopko O.N., Bervinova A.N. Applications of Diode Laser in Stapes Surgery. Head and neck. Russian magazine = Head and neck. Russian Journal. 2022;10(3):8–14

The authors are responsible for the originality of the data presented and the possibility of publishing illustrative material – tables, drawings, photographs of patients.

**Цель исследования.** В исследовании представлена оценка эффективности интраоперационных реакций и изменений порогов костного проведения на высоких частотах при выполнении стапедопластики с использованием диодного лазера с длиной волны 0,98 мкм.

**Материал и методы.** Пациентам с тимпанальной формой отосклероза ( $n=20$ ) была выполнена лазерная стапедопластика с установкой тefлонового поршневого протеза в условиях местной анестезии. Диодный лазер с длиной волны 0,98 мкм был использован для перфорации подножной пластины стремени в кон-

тактном короткоимпульсном режиме на высокой выходной мощности (30 Вт 30 мс). Лазерный световод до выполнения оперативного вмешательства был подготовлен с помощью активации на деревянном шпатель (5 импульсов) для создания на торце частиц угля, хорошо поглощающих лазерное излучение с длиной волны 0,98 мкм. Для оценки состояния внутреннего уха и функциональных результатов вмешательства пациентам проводилась тональная пороговая аудиометрия на 7-е сутки, через 1, 3 и 6 месяцев. Кроме того, для оценки состояния внутреннего уха во время оперативного вмешательства проводилась оценка вестибулярных реакций – ощущение провала, кратковременное головокружение (до 10 секунд), долговременное головокружение (более 10 секунд), а также оценка степени нистагма.

**Результаты.** Было получено улучшение порогов слуха по воздушной проводимости (ВП) и закрытие костно-воздушного интервала (КВИ) у пациентов в послеоперационном периоде. Медианные значения порогов слуха по ВП: до операции –  $25 \pm 11,1$  дБ, через 1 месяц – 16,2 дБ (Me), через 3 месяца – 15 дБ (Me) и через 6 месяцев – 15 дБ (Me). При оценке порогов слуха по ВП (РТА) до и после вмешательства получено статистически значимое различие в сторону уменьшения порогов ( $p < 0,05$ ) с использованием парного критерия Стьюдента. Закрытие КВИ через 6 месяцев менее 20 дБ наблюдалось у всех пациентов (100%), менее 15 дБ – у 18 пациентов (90%) на частотах 0,5–4,0 кГц. У пациентов в послеоперационном периоде не было выявлено вестибулярных расстройств, увеличения порогов слуха по костной проводимости (КП) на высоких частотах, что свидетельствует об отсутствии повреждения внутреннего уха.

**Заключение.** Поршневая стапедопластика с использованием диодного лазера с длиной волны излучения 0,98 мкм позволяет достигать «отличных» ( $\text{КВИ} \leq 10$  дБ) функциональных результатов у 80% пациентов с отосклерозом через 6 месяцев после операции. Интраоперационно и в раннем послеоперационном периоде у пациентов не наблюдается вестибулярных расстройств и значимого снижения порогов слуха КП на высоких частотах, что свидетельствует о безопасности предлагаемой методики.

**Ключевые слова:** лазерная стапедопластика, поршневая стапедопластика, отосклероз, диодный лазер 980 нм, кондуктивная тугоухость

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование.** Работа выполнена без спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Карпищенко С.А., Улулов М.Ю., Сопко О.Н., Бервинова А.Н. Возможности применения диодного лазера в хирургии стремени. *Head and neck. Голова и шея. Российский журнал=Head and neck. Russian Journal.* 2022;10(3):8–14

Авторы несут ответственность за оригинальность представленных данных и возможность публикации иллюстративного материала – таблиц, рисунков, фотографий пациентов

**研究目的:** 我们的研究目的是根据功能结果评估高功率短脉冲模式0.98 $\mu\text{m}$ 二极管激光镗骨成形术的有效性和安全性。

**材料与方法:** 鼓膜耳硬化症患者 ( $n=20$ ) 在局部麻醉下使用Teflon活塞假体进行了激光骨成形术。波长为0.98 $\mu\text{m}$ 的二极管激光器以高输出功率 (30 W 30 ms) 以接触短脉冲模式使用。在手术干预之前, 通过在木质刮刀 (5个脉冲) 上激活来制备激光引导物, 以在末端产生能够很好地吸收波长为0.98 $\mu\text{m}$ 的激光辐射的碳颗粒。穿孔镗骨足板的脉冲数为2–3个脉冲。为了评估内耳可能的损伤和干预的功能结果, 我们在第7天, 第1、3和6个月进行了听力测试。此外, 为了评估手术期间内耳的状态, 进行了前庭反应的评估–跌倒感, 短期头晕 (最多10秒), 长期头晕 (超过10秒), 以及对眼球震颤的评估。

**结果:** 术后患者的空气传导 (AC) 和骨气间隙 (ABG) 的听力阈值得到了改善。气导听阈的中值: 手术前– $25 \pm 11.1$ 分贝, 一个月后–16.2分贝 (Me), 三个月后–15分贝 (Me), 六个月后–15分贝 (Me)。当用AC (PTA) 评估干预前后的听力阈值时, 用配对的Student's t检验, 得到了阈值下降方向的统计学上的显著差异 ( $p < 0.05$ )。6个月后, 所有患者的ABG闭合度都低于20分贝 (100%), 低于15分贝 (15%)。在0.5–4.0kHz的频率下, 所有患者 (100%) 的ABG闭合度都低于20dB, 18名患者 (90%) 低于15dB。在术后, 没有观察到前庭障碍, 也没有观察到高频骨传导 (BC) 听力阈值的增加。这表明内耳没有受到损害。

**结论:** 使用波长为0.98 $\mu\text{m}$ 的二极管激光器进行活塞式镗骨成形术可以获得“优秀” (ABG)  $\leq$  手术后6个月, 80%的耳硬化症患者出现功能性结果。在术中和术后早期, 患者未表现出前庭疾病或高频听力阈值显著降低, 这表明所提出技术的安全性。

**关键词:** 激光镗骨成形术, 活塞式镗骨成形术, 耳硬化症, 980纳米二极管激光, 传导性 听力损失

**利益冲突:** 作者声明没有利益冲突。

**资助:** 本研究没有任何资金。

**引用:** Karpishchenko S.A., Ulupov M.Y., Sopko O.N., Bervinova A.N. Applications of Diode Laser in Stapes Surgery. *Head and neck. Russian magazine = Head and neck. Russian Journal.* 2022;10(3):8–14

作者对所提交数据的独创性和出版的可能性负责。说明性材料—表格、图画、病人的照片。

## Введение

С внедрением лазеров в оториноларингологию появились первые данные о возможности лазерной стапедотомии. Различные лазерные системы, такие как КТР, аргон, эрбий, YAG и CO<sub>2</sub>-лазеры оценивались на предмет их пригодности для перфорации подножной пластины стремени [1–6].

Основные преимущества использования лазера заключаются в высокой точности его применения, высокой эффективности абляции и низком риске непреднамеренной мобилизации подножной пластины. Результат воздействия лазера на биологическую ткань зависит от его длины волны, которая определяет степень поглощения и глубину проникновения излучения, а также от продолжительности воздействия, плотности энергии излучения.

В настоящее время «золотым» стандартом для выполнения лазерной стапедопластики считается CO<sub>2</sub>-лазер. Излучение CO<sub>2</sub>-лазера находится в инфракрасном спектре и имеет длину волны 10,6 мкм. Его излучение крайне эффективно поглощается водой, а, следовательно, подлежащие ткани защищены от его воздействия [7].

В последнее время в научной медицинской литературе появились клинические и экспериментальные данные об успешном применении диодного лазера с длиной волны 0,98 мкм для лазерной стапедопластики [8–12]. Немаловажным преимуществом диодного лазера является возможность проведения лазерного излучения с длиной волны 0,98 мкм по тонкому кварцевому световоду, что существенно облегчает доставку лазерной энергии к среднему уху. В отличие от CO<sub>2</sub>-лазера, излучение с длиной волны 0,98 мкм значительно хуже поглощается водой, зато лучше поглощается гемоглобином и темными пигментами. Слабое поглощение водой, с одной стороны, означает меньший риск ее нагревания при прохождении излучения, но и более глубокое проникновение самого излучения. Так как внутреннее ухо заполнено прозрачными жидкостями, пери- и эндолимфой, а волосковые клетки преддверия лабиринта находятся всего в 2–3 мм от подножной пластинки стремени, то необходимо использовать как можно меньшую энергию лазерного излучения и длительность импульса, чтобы не подвергать нейросенсорный эпителий внутреннего уха риску повреждения.

Результаты найденных нами клинических и экспериментальных исследований, посвященных применению лазера с длиной волны 980 нм при стапедопластике, достаточно разнородны. В исследованиях описаны различные режимы лазерного воздействия: мощность – от 2 до 30 Вт, длительность импульса – 40–200 мс, диаметр волокна – 0,2–0,6 мм, энергия одного импульса – от 35 до 637 Дж/см<sup>2</sup> [8–12]. D.M.A. Kamalski и др. [9] протестировали тепловые, механические и акустические эффекты диодного лазера 980 на экспериментальной модели внутреннего уха (режим воздействия 3 Вт 100 мс), продемонстрировав, что эти эффекты находятся в безопасных пределах. Несмотря на экспериментальное обоснование данных режимов, в серии клинических наблюдений P.K. Parida было несколько случаев предположительно термического повреждения внутреннего уха после лазерной стапедотомии, а также случай пареза лицевого нерва [11]. Нами была предложена следующая модификация методики лазерной стапедотомии при помощи диодного лазера с длиной волны 980 нм, позволяющая снизить риск повреждения структур внутреннего уха: активация световода перед воздействием на деревянном шпатель, создание перфорации по диаметру меньшей, чем диаметр самого волокна.

Вышеперечисленные модификации позволили снизить энергию лазерного воздействия и длительность импульса по сравнению с имеющимися данными клинических исследований мировой литературы, а значит повысили безопасность проводимой процедуры [13].

Несмотря на наличие данных об успешном применении диодного лазера с длиной волны 0,98 мкм в клинической практике, в отечественной литературе встречается крайне мало исследований, посвященных данной теме.

**Целью исследования** явилась оценка эффективности, интраоперационных реакций и изменений порогов костного проведения (КП) на высоких частотах при выполнении стапедопластики с использованием диодного лазера с длиной волны 0,98 мкм.

## Материал и методы

Исследование было одобрено этическим комитетом ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова. Перед операцией все пациенты подписали согласие на хирургическое вмешательство и были проинформированы о хирургических методах и рисках процедуры.

Критерием включения являлся диагноз отосклероз, установленный на основании отозндоскопии, тимпанометрии (тимпанометрическая кривая тип А и отсутствие акустического рефлекса), тональной пороговой аудиометрии и компьютерной томографии височных костей (класс 1 по Symons and Fanning) [14], с костно-воздушным интервалом (КВИ) > 20 дБ.

Критериями невключения являлись беременность, возраст до 18 лет, активный отосклероз по данным отозндоскопии, ревизионная стапедопластика.

С января 2019 г. по декабрь 2019 г. одним и тем же хирургом было выполнено 20 первичных стапедопластик. Во время оперативного вмешательства проводилась оценка вестибулярных реакций для оценки возможного повреждения внутреннего уха: ощущение провала, кратковременное головокружение (до 10 секунд), долговременное головокружение (более 10 секунд), а также оценка степени нистагма. Производилась оценка динамики ушного шума в пред- и послеоперационном периодах. На 7-е сутки после вмешательства выполнялась тональная пороговая аудиометрия с целью выявления скрытых улитковых нарушений. В дальнейшем, тональная пороговая аудиометрия выполнялась через 1, 3 и 6 месяцев после операции. Оценка слуха производилась путем оценки КВИ и порогов слуха по воздушному проведению (ВП) на частотах 0,5; 1; 2 и 4 кГц. Оценка степени повреждения внутреннего уха осуществлялась путем анализа порогов по КП на частотах 4 и 8 кГц. Усреднение порогов производилось с помощью расчета среднего арифметического для диапазона частот.

Оперативное вмешательство выполнялось в условиях местной анестезии с использованием диодного лазера с длиной волны 0,98 мкм в контактном импульсном режиме. Все этапы операции выполнялись под контролем микроскопа с использованием холодных инструментов, лазер был использован для перфорации подножной пластины стремени перед установкой поршневого протеза. Число импульсов для перфорирования подножной пластины стремени составляло 2–3 импульса. Диаметр кварцевого сердечника световода составлял 600 мкм. Лазер был использован в импульсном режиме: длительность импульса составляла 30 мс, выходная мощность излучения – 30 Вт. Лазерный световод до выполнения оперативного вмешательства был подготовлен с помощью активации на деревянном шпатель (5 импульсов) для создания на торце частиц угля, хорошо

поглощающих лазерное излучение с длиной волны 0,98 мкм. Во всех случаях был использован поршневой тефлоновый протез фирмы Medtronic с диаметром 0,4 мм. Наружный слуховой проход рыхло тампонируется марлевыми турундами, которые удаляли на 7-е сутки после вмешательства. Все пациенты сохраняли строгий постельный режим в течение одних суток после операции.

## Результаты

Характеристика пациентов, перенесших лазерную стапедопластику, представлена в табл. 1.

Была произведена оценка порогов КП до операции. По данным уровня слуха по КП пациенты разделились на следующие группы: тимпанальная форма отосклероза у 8 (40%) пациентов (КП менее 20 дБ), смешанная форма I (КП от 20 до 30 дБ) у 7 (35%), смешанная форма II (КП более 30 дБ) у 5 (25%) пациентов.

Интраоперационно у 7 (35%) пациентов было выявлено сужение ниши окна преддверия, затрудняющее манипуляции в данной области. У 2 (10%) пациентов была выявлена «плавающая» подножная пластина стремени. Несмотря на анатомические особенности, в данной группе пациентов была выполнена лазерная стапедотомия и установлен поршневой протез. Так как операция выполнялась в условиях местной анестезии, в момент выполнения перфорации подножной пластины стремени производилась оценка интраоперационных реакций у пациента (табл. 2).

В раннем послеоперационном периоде после активизации больного производилась оценка вестибулярных реакций и ушного шума. Нистагм 1-й степени был выявлен у 3 (15%) пациентов, у остальных нистагм отсутствовал. Уменьшение ушного шума отметили 5 (25%) пациентов. Среди пациентов жалобы на ушной шум предъявляли 55%, преобладал шум низкочастотного характера. Через 6 месяцев после операции у 7 (64%) пациентов с тиннитусом шум полностью исчез, 1 (9%) пациент отметил уменьшение интенсивности ушного шума.

При анализе порогов слуха по ВП (в диапазоне частот от 0,5 до 4 кГц) до и через 1 месяц после вмешательства было отмечено уменьшение порогов. Различия оказались статистически значимы ( $p < 0,05$ ) с использованием парного критерия Стьюдента. Медианные значения порогов слуха по ВП: до операции –  $25 \pm 11,1$  дБ, через 1 месяц – 16,2 дБ (Ме), через 3 месяца – 15 дБ (Ме) и через 6 месяцев – 15 дБ (Ме). При динамической оценке порогов слуха по КП у 2 пациентов отмечено их повышение на высоких частотах от 4–8 кГц до 10 дБ, которое нивелировалось к 6-му месяцу послеоперационного периода. Важно отметить, что у данных пациентов интраоперационно была выявлена «плавающая» подножная пластина стремени. Среднее значение порогов слуха по КП на высоких частотах составило до 23,75 дБ, через 1 месяц – 20 дБ, через 3 месяца – 18,75 дБ и через 6 месяцев – 18,75 дБ (рис. 1).

КВИ до оперативного вмешательства составлял  $32 \pm 6,7$  дБ ( $M \pm SD$ ). Через 1 месяц показатель изменился до 14 дБ. Закрытие КВИ менее 20 дБ через 1 месяц было достигнуто у 16 (80%)

Таблица 1. Характеристика пациентов  
Table 1. Patient Characteristics

Параметры Parameters	Показатели Values
Возраст, лет ( $M \pm SD$ ) откл. мин-макс Age, years ( $M \pm SD$ ) min-max	44±11 (23–64)
Длительность заболевания, мес. ( $M \pm SD$ ) откл. мин-макс Disease duration, months ( $M \pm SD$ ) min-max	56±21 (24–90)
Разговорная речь до операции (PP), м ( $M \pm SD$ ) откл. мин-макс Preoperative speech (PS), m ( $M \pm SD$ ) min-max	1 (0–2)
Пороги костной проводимости (КП) до операции, дБ ( $M \pm SD$ ) откл. мин-макс Bone conduction thresholds (BC) before surgery, dB ( $M \pm SD$ ) min-max	25±11,1 (6,6–53,3)
Костно-воздушный интервал (КВИ) до операции, дБ ( $M \pm SD$ ) откл. мин-макс Bone-air gap (ABG) before surgery, dB ( $M \pm SD$ ) min-max	32±6,7 (20,8–44,1)
Пол, n (%): мужской женский	Gender, n (%): male female 3 (15) 17 (85)
Оперированная сторона, n (%): Правое ухо Левое ухо	Operated side, n (%): Right ear Left ear 11 (55) 9 (45)
Ушной шум, n (%): есть нет	Tinnitus, n (%): present absent 9 (45) 11 (55)

Таблица 2. Интраоперационные реакции  
Table 2. Intraoperative reactions

Параметры Parameters	Показатели Values
Нистагм: нет нистагм 1-й степени нистагм 2-й степени	Nystagmus: none 1st degree nystagmus 2nd degree nystagmus 12 (60,0) 6 (30,0) 2 (10,0)
Субъективные ощущения: нет однократное ощущение «проваливания» кратковременное головокружение (<10 сек) долговременное головокружение (>10 сек)	Subjective feelings: none Single sensation of falling Short-term dizziness (<10 sec) Long-term dizziness (>10 sec) 1 (5,0) 5 (25,0) 12 (60,0) 2 (10,0)

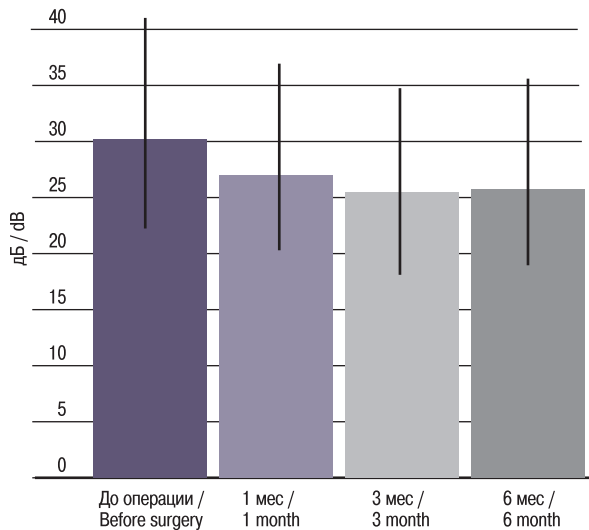


Рис. 1. Динамика порогов КП на высоких частотах (4 и 8 кГц)  
Figure 1. Dynamics of BC thresholds at high frequencies (4 and 8 kHz)

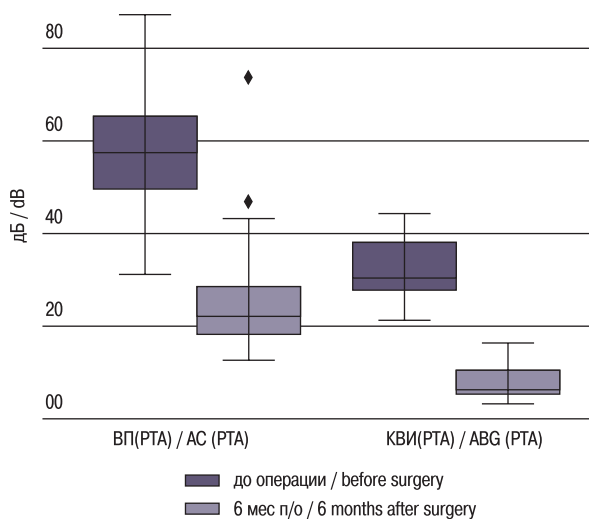


Рис. 2. Показатели порогов ВП и КВИ до и через 6 месяцев после операции  
Figure 2. The AC and ABG threshold values before and 6 months after surgery.

пациентов. Закрытие КВИ через 6 месяцев менее 20 дБ наблюдалось у всех (100%) пациентов, менее 15 дБ – у 18 (90%) пациентов на всех частотах (рис. 2).

## Обсуждение

За последние 25 лет различные лазерные системы были использованы в качестве альтернативы традиционной хирургии стремени. Использование лазера позволяет точно перфорировать подножную пластину стремени, при этом не оказывая значительного механического давления. Кроме того, использование лазера позволяет перфорировать «плавающую» подножную пластину стремени и манипулировать в узком окне преддверия. А.М. Poletti и соавт. описали режим использования диодного лазера для стапедотомии, существенно увеличив мощность

воздействия до 40 Вт, но сократив длительность импульса до 60 мс (энергия одного импульса – 850 Дж/см<sup>2</sup>), мотивируя это тем, что основной механизм повреждения внутреннего уха – теплопередача, а сокращение времени воздействия сокращает время теплопередачи [10]. Математические расчеты, а также серия представленных авторами клинических наблюдений в целом подтверждают безопасность этого режима.

Представленная модификация методики лазерной диодной стапедопластики заключается в предварительной активации световода на деревянном шпатель и создание перфорации диаметром меньшим, чем диаметр волокна. Специальная подготовка лазерного волокна перед воздействием заключается в скалывании торца световода и активации его при непосредственном контакте с деревянным шпателем. Это приводит к возгоранию древесины в точке воздействия и к осаждению частиц угля на торце световода. Уголь, имеющий черный цвет, очень хорошо поглощает излучение ближнего инфракрасного диапазона – значительно лучше, чем розовая слизистая оболочка или светлая кость стремечка. Такая подготовка позволяет добиться эффективной абляции костной ткани при более низких показателях мощности и длительности импульса, чем в предлагаемой А.М. Poletti методике. В серии экспериментальных исследований с использованием диодного лазера 0,98 мкм на высокой мощности короткими импульсами было получено, что перфорирование подножной пластины менее чем за 3 импульса достигается при минимальной мощности 30 Вт и минимальной длительности импульса 30 мс (после предварительного зачернения торца световода). Таким образом, энергия одного лазерного импульса по нашей методике составляет 212 Дж/см<sup>2</sup>, что 4 раза меньше, чем у А.М. Poletti. Длительность импульса также существенно снижена (в 2 раза), что еще больше повышает безопасность воздействия.

Распределение плотности мощности лазерного излучения, выходящего из торца кварцевого световода, неравномерно и сконцентрировано ближе к центральной части волокна. Поэтому для создания перфорации, соответствующей диаметру кварцевого световода, требуется большая энергия излучения, чем для создания перфорации меньшего диаметра. Фактически, при создании перфорации диаметром с волокно в центральной части пятна воздействия выделенная энергия будет избыточной и может привести к повреждению внутреннего уха. Мы предлагаем использовать кварцевый световод диаметром 0,6 мм, но создавать перфорацию в подножной пластинке стремени меньшего диаметра (около 0,4–0,5 мм) и устанавливать поршневой протез стремени диаметром 0,4 мм вместо 0,6 мм. Уменьшение диаметра перфорации также позволяет при использовании нашей методики снизить энергию лазерного воздействия и повысить безопасность процедуры.

В результате клинического исследования нами было получено улучшение порогов слуха ВП и закрытие КВИ у пациентов в послеоперационном периоде. Оперативное вмешательство выполнялось в условиях местной анестезии, что позволяло косвенно судить о возможном нагреве перелимфы на основании интраоперационных вестибулярных реакций.

Закрытие КВИ через 6 месяцев менее 20 дБ наблюдалось у всех (100%) пациентов, менее 15 дБ – у 18 (90%) пациентов на частотах 0,5–4,0 кГц. Таким образом, результаты данного исследования сопоставимы с литературными данными (табл. 3).

У 2 пациентов наблюдалось временное повышение порогов слуха КП на высоких частотах (8 и 4 кГц) до 10 дБ. Однако

Таблица 3. Сравнение с литературными данными  
Table 3. Comparison with literature data

Исследование Study	N	КВИ<20 дБ, n (%) ABG<20 dB, n (%)	КВИ<15 дБ, n (%) ABG<15 dB, n (%)	КВИ<10 дБ, n (%) ABG<10 dB, n (%)
Данное исследование The present study	20	20 (100)	18 (90)	16 (80)
Nguyen и соавт. "Diode laser in otosclerosis surgery: first clinical result." [15] Nguyen et al. "Diode laser in otosclerosis surgery: first clinical result." [15]	119	–	100 (84)	69 (58)
A.M. Poletti и соавт. "The "One Shot" Diode Laser Stapedotomy" [10] A.M. Poletti et al. "The "One Shot" Diode Laser Stapedotomy" [10]	179	175 (97,69)	–	159 (89,02)
A. Maniu, M. Cosgarea "Technical and functional hearing results after unilateral stapes surgery for otosclerosis at Cluj-Napoca University Hospital." [16]	387	344 (89)	–	298 (77)

временное ухудшение слуха может быть связано с многочисленными факторами, такими как чрезмерное истечение перилимфы, попадание крови в преддверие, операционная травма. Отсутствие вестибулярных расстройств, восстановление порогов слуха КП на высоких частотах, отсутствие сеносоневральной тугоухости в послеоперационном периоде свидетельствует о безопасности использования диодного лазера с длиной волны 0,98 мкм для выполнения стапедотомии.

## Выводы

Поршневая стапедопластика с использованием диодного лазера с длиной волны излучения 0,98 мкм позволяет достигать «отличных» (КВИ≤10 дБ) функциональных результатов у 80% пациентов с отосклерозом через 6 месяцев после операции.

Использование лазера для выполнения стапедотомии облегчает работу хирурга при наличии «плавающей» подножной пластины стремени и узкой ниши преддверия и позволяет избежать осложнений.

Интраоперационно и в раннем послеоперационном периоде у пациентов не наблюдается вестибулярных расстройств и значимого снижения порогов слуха КП на высоких частотах, что свидетельствует о безопасности предлагаемой методики.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Arnoldner C., Schwab B., Lenarz T. Clinical results after stapedotomy: a comparison between the erbium: yttrium-aluminum-garnet laser and the conventional technique. *Otol. Neurotol.* 2006;27:458–65.
2. Motta G., Mosillo L. Functional results in stapedotomy with and without CO<sub>2</sub> laser. *ORL. J. Otorhinolaryngol. Relat. Spec.* 2002;64:307–10.
3. Parrilla C., Galli J., Fetoni A.R., et al. Erbium: yttrium-aluminum-garnet laser stapedotomy – a safe technique. *Otolaryngol. Head Neck Surg.* 2008; 138:507–12.
4. Silverstein H., Rosenberg S., Jones R. Small fenestra stapedotomies with and without KTP laser: a comparison. *Laryngoscope.* 1989;99:485–8.
5. Lescanne E., Robier A., Soin C., et al. Otosclerosis surgery: a series of 227 cases. Introduction of CO<sub>2</sub> laser. *Ann. Otolaryngol. Chir. Cervicofac.* 1999; 116:28–36.
6. Mosillo L., Imperiali M., Carra P., et al. Bone conduction variation poststapedotomy. *Am. J. Otolaryngol.* 2006;27:330–3.
7. Smith M., Roberson J. CO<sub>2</sub>-laser stapedotomy. *Oper. Tech. Otolaryngol. Head Neck Surg.* 1998;9:24–32.
8. Navarrete M.L., Boemo R., Darwish M., et al. Pilot study on the diode laser in stapes surgery. *Acta Otorrinolaryngol. Esp.* 2010;61(6):434–6.

9. Kamalski D.M.A., de Boorder T., Bittermann A.J.N., et al. Capturing Thermal, Mechanical, and Acoustic Effects of the Diode (980 nm) Laser in Stapedotomy. *Otol. Neurotol.* 2014;35:1070–6.
10. Poletti A.M., Miceli S., Rossi V., et al. The "One Shot" Diode Laser Stapedotomy. *Photomed. Laser Surg.* 2015;33(12):598–603.
11. Parida P.K., Kalaiarasi R., Gopalakrishnan S. "Diode laser stapedotomy vs conventional stapedotomy in otosclerosis: a double-blinded randomized clinical trial. *Otolaryngol. Head Neck Surg.* 2016;154: 1099–105.
12. Hamerschmidt R., Saab S.S., Carvalho B., Carmo C. Short-Term Audiological Results of Diode Laser in Comparison with Manual Perforation in Stapes Surgery. *Int. Arch. Otorhinolaryngol.* 2018;22(2):119–24.
13. Карпищенко С.А., Улунов М.Ю., Бородулин В.Г. и др. Способ лазерной стапедопластики, патент на изобретение RU 2719923 C1, 2020 г.
14. Marshall A.H., Fanning N., Symons S., et al. Cochlear implantation in cochlear otosclerosis. *Laryngoscope.* 2005;115(10):1728–33. Doi: 10.1097/01.mlg.0000171052.34196.ef.
15. Nguyen Y., Grayeli A.B., Belazzougui R., et al. Diode laser in otosclerosis surgery: first clinical result. *Otol. Neurotol.* 2008;29:441–6.
16. Maniu A., Cosgarea M. Technical and functional hearing results after unilateral stapes surgery for otosclerosis at Cluj-Napoca University Hospital. *Eur. Arch. Otorhinolaryngol.* 2013;270:2215–24.

Поступила 12.10.21

Получены положительные рецензии 15.06.22

Принята в печать 20.06.22

Received 12.10.21

Positive reviews received 15.06.22

Accepted 20.06.22

**Вклад авторов:** Все авторы внесли равнозначный вклад в создание статьи.

**Contribution of the authors:** All authors contributed equally to the manuscript.

### Информация об авторах:

Карпищенко Сергей Анатольевич – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой оториноларингологии с клиникой ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова, Санкт-Петербург; e-mail: karpischenkos@mail.ru.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1124-1937>.

Улунов Михаил Юрьевич – к.м.н., доцент кафедры оториноларингологии с клиникой ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова, Санкт-Петербург.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8460-9889>.

Сопко Ольга Николаевна – к.м.н., ассистент кафедры оториноларингологии с клиникой ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова, Санкт-Петербург.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1171-6296>.

Бервинова Анна Николаевна – аспирант кафедры оториноларингологии с клиникой ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова, Санкт-Петербург.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2898-4916>.

**Information about the authors:**

*Karpishchenko Sergey Anatolievich – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Otorhinolaryngology, FSBEI HE St. Petersburg State Medical University named after Acad. I.P. Pavlov, St. Petersburg; e-mail: karpishchenkos@mail.ru.*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1124-1937>.*

*Ulupov Mikhail Yurievich – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Otorhinolaryngology, FSBEI HE St. Petersburg State Medical University named after Acad. I.P. Pavlov, St. Petersburg.*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8460-9889>.*

*Sopko Olga Nikolaevna – Candidate of Medical Sciences, Assistant of the Department of Otorhinolaryngology, FSBEI HE St. Petersburg State Medical University named after Acad. I.P. Pavlov, St. Petersburg.*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1171-6296>.*

*Bervinova Anna Nikolaevna – Postgraduate student of the Department of Otorhinolaryngology, FSBEI HE St. Petersburg State Medical University named after Acad. I.P. Pavlov, St. Petersburg.*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2898-4916>.*