

DOI: 10.37988/1811-153X\_2023\_1\_121

[Д.В. Жучкова](#)<sup>1,2</sup>,стоматолог-хирург, ассистент  
кафедры челюстно-лицевой хирургии  
и хирургической стоматологии[С.П. Сысолятин](#)<sup>1,2,3</sup>,д.м.н., профессор кафедры пропедевтики  
стоматологических заболеваний; челюстно-  
лицевой хирург; профессор кафедры  
стоматологии<sup>1</sup> РУДН, 117198, Москва, Россия<sup>2</sup> Клиника «Эндостом»,  
125252, Москва, Россия<sup>3</sup> Медико-биологический  
университет им. А.И. Бурназяна,  
123098, Москва, Россия**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**Жучкова Д.В., Сысолятин С.П. Экспериментальное исследование эффекта ретропульсии при сиалолитотрипсии тулиевым лазером. — *Клиническая стоматология*. — 2023; 26 (1): 121—125. DOI: 10.37988/1811-153X\_2023\_1\_121[D.V. Zhuchkova](#)<sup>1,2</sup>,dental surgeon, assistant at the Oral and  
maxillofacial surgery Department[S.P. Sysolyatin](#)<sup>1,2,3</sup>,PhD in Medical Sciences, full professor  
of the Dentistry diseases propaedeutics  
Department; maxillofacial surgeon; full  
professor of the Dentistry Department<sup>1</sup> RUDN University,  
117198, Moscow, Russia<sup>2</sup> "Endostom" Clinic,  
125252, Moscow, Russia<sup>3</sup> Medical and Biological University  
of the State Medical Center named after  
A.I. Burnazyan, 123098, Moscow, Russia**FOR CITATION:**Zhuchkova D.V., Sysolyatin S.P. Experimental investigation of the effect of repulsion in sialolithotripsy with a thulium laser. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2023; 26 (1): 121—125 (In Russ.). DOI: 10.37988/1811-153X\_2023\_1\_121

## Экспериментальное исследование эффекта ретропульсии при сиалолитотрипсии тулиевым лазером

**Реферат.** Размер конкремента влияет на эффективность его удаления методом сиалоэн-доскопии. Сравнительные исследования лазеров разного типа в дроблении конкрементов показали, что преимущественным интракорпоральным литотриптером остается гольмиевый YAG-лазер. Однако проблема эффекта отталкивания (ретропульсии) конкремента остается нерешенной. Положительные результаты урологов в литотрипсии тулиевым лазером послужили основанием для проведения собственного исследования на слюнных камнях. **Цель** — оценить эффект ретропульсии при дроблении сиалолитов тулиевым лазером в различных режимах *in vitro*. **Материалы и методы.** Для проведения исследования были отобраны 14 сиалолитов округлой формы диаметром 5—6 мм. Нами разработана модель, состоящая из вакутейнера: прозрачной стеклянной пробирки диаметром 8 мм цилиндрической формы, имитирующей проток слюнной железы. Через колпачок модели подводили волокно лазера FiberLase U2 и последовательно проводили серию литотрипсий в трех режимах аппарата при максимальном и минимальном значениях энергии и частоты импульса, дополнительно исследовали фрагментацию при средних значениях частоты и энергии импульса режима Popcorning. **Результаты.** Эффект ретропульсии сиалолитов наблюдался в результате подачи лазерного импульса во всех трех режимах аппарата FiberLase U2, однако числовые значения эффекта варьировали от 2 до 10 мм в зависимости от выбранного режима и его мощности. Также образовывались пузырьки воздуха, искры и мелкие фрагменты разной степени выраженности. **Заключение.** Тулиевый лазер FiberLase U2 является эффективным средством дробления во всех режимах. Увеличение энергии и частоты импульса повышает эффект ретропульсии и представляет опасность для тканей. Таким образом, клиническое исследование должно быть проведено на минимальных значениях энергии и частоты лазерного импульса.

**Ключевые слова:** сиалолит, литотрипсия, слюнно-каменная болезнь, фрагментация

## Experimental investigation of the effect of repulsion in sialolithotripsy with a thulium laser

**Abstract.** The size of the concretion affects the effectiveness of its removal by sialoendoscopy. Comparative studies of lasers of various types in the crushing of concretions have shown that the holmium YAG laser remains the predominant intracorporeal lithotripter. However, the problem of the effect of repulsion (retropulsion) of the concretion remains unresolved. The positive results of urologists in lithotripsy with the FiberLase U2 thulium laser served as the basis for conducting their own research on salivary stones. **Aim:** to evaluate the effect of repulsion when crushing sialoliths with a thulium laser FiberLase U2 in various modes *in vitro*. **Material and methods.** 14 round-shaped sialoliths with a diameter of 5—6 mm were selected for the study. We have developed a model consisting of a vacutainer: a transparent glass tube with a diameter of 8 mm, cylindrical in shape, simulating the duct of the salivary gland. A FiberLase U2 laser fiber was fed through the cap of the model and a series of lithotripsies were sequentially performed in three modes of the device at maximum and minimum values of pulse energy and frequency, fragmentation was additionally investigated at average values of frequency and pulse energy of the Popcorning mode. Results: The effect of sialolith repulsion was observed as a result of the laser pulse in all three modes of the FiberLase U2 device, however, the numerical values of the effect varied from 2 to 10 mm depending on the selected mode and its power. Air bubbles, sparks and small fragments were also formed in varying degrees of severity. **Conclusion.** The FiberLase U2 thulium laser is an effective means of crushing in all modes. An increase in the energy and frequency of the pulse increases the effect of repulsion and poses a danger to tissues. Thus, the clinical study should be conducted at the minimum values of the energy and frequency of the laser pulse.

**Keywords:** sialoliths, lithotripsy, salivary stone disease, fragmentation

## ВВЕДЕНИЕ

Эффективность удаления конкрементов с помощью сиалоэндоскопии снижается по мере увеличения размера камня [1–4]. Решить эту проблему может лазерная сиалолитотрипсия. Поиск и сравнительные исследования лазеров разного типа (эксимерный, неодимовый, александритовый и т.д.) для дробления конкрементов в последние 10 лет показали, что преимущественным интракорпоральным литотриптером является гольмиевый YAG-лазер [5–11]. Однако и этот лазер имеет существенные недостатки, в частности проблема эффекта отталкивания (ретропульсии) конкремента остается нерешенной и напрямую влияет на исход операции. В последние годы в литературе появились результаты исследований дробления почечных камней с помощью тулиевого лазера FiberLase U2 [12–14]. Согласно данным урологов, фрагментация с помощью данного литотриптера имеет преимущества перед YAG-лазером [11, 13–15], в том числе по уменьшению эффекта ретропульсии при ударе [13, 14]. Положительные результаты урологической литотрипсии стали основанием для нашего исследования дробления слюнных камней тулиевым лазером.

**Цель** — оценить эффект ретропульсии при дроблении сиалолитов тулиевым лазером FiberLase U2 в различных режимах *in vitro*

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Медицинский лазер российского производства FiberLase U2 позволяет работать в трех режимах:

- 1) Popcorning — 175–240 Гц, 0,025 до 0,200 Дж;
- 2) Dusting — 43,8–60 Гц, 0,1–0,8 Дж;
- 3) Fragmentation — 6–7,8 Гц, 1,0–4,5 Дж.

Для исследования были отобраны 14 ранее удаленных сиалолитов округлой формы, диаметром 5–6 мм и рентгеновской плотностью 700–800 НУ. Нами разработана модель, состоящая из вакутейнера — прозрачной стеклянной пробирки диаметром 8 мм цилиндрической формы. Пробирку заполняли физиологическим раствором хлорида натрия 0,09% и помещали конкремент, затем закрывали резиновым колпачком. Экспериментальную модель-вакутейнер располагали горизонтально и прикладывали к ней измерительную линейку. Далее резиновый колпачок пробирки прокалывали и волокно лазера диаметром 400 мкм подводили к поверхности слюнного камня (рис. 1). Данная модель симулировала



Рис. 1. Экспериментальная модель для исследования эффекта ретропульсии при дроблении сиалолита  
Fig. 1. Experimental model for the study of the effect of retropropulsion during crushing of sialolite

процесс дробления в клинических условиях. Лазерный удар наносили коротким нажатием на педаль. Процесс фрагментации фиксировали на видео. Была проведена серия литотрипсии 14 конкрементов (по 2 сиалолита в каждом режиме) поочередно в трех режимах (Popcorning, Dusting, Fragmentation) на минимальной и максимальной мощностях. Дополнительно рассмотрено воздействие лазерного луча на конкремент в режиме Popcorning при средней мощности (частота импульсов — 250 Гц, пульсовая энергия — 0,1 Дж), так как данный режим рекомендован разработчиками лазерного аппарата, а также в связи с положительными результатами уролитотрипсии.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Фрагментировать конкременты удалось во всех трех режимах, в том числе от минимально заданных параметров мощности. Числовые значения эффекта ретропульсии при работе в каждом режиме сведены в таблицу.

На первом этапе мы проводили лазерное дробление при максимальном значении энергии и частоты импульса. В момент подачи импульса во всех трех режимах возникала горящая искра, в большом количестве образовывались крупные пузырьки воздуха и откалывающиеся мелкие фрагменты (рис. 2). Раствор в трубке становился мутным, видимость нарушалась из-за взвеси частиц с пузырьками. При каждом лазерном ударе мы наблюдали отбрасывание камня от волокна на разную длину (рис. 3; таблица).

В режиме Fragmentation эффект ретропульсии сопровождался скачкообразными движениями камня вокруг своей оси. На поверхности конкремента образовывались крупные кратерообразные очаги обугливания черного цвета (рис. 4). Далее литотрипсия проводилась при минимальных значениях энергии и частоты лазерного импульса. Во всех трех режимах камень отскакивал

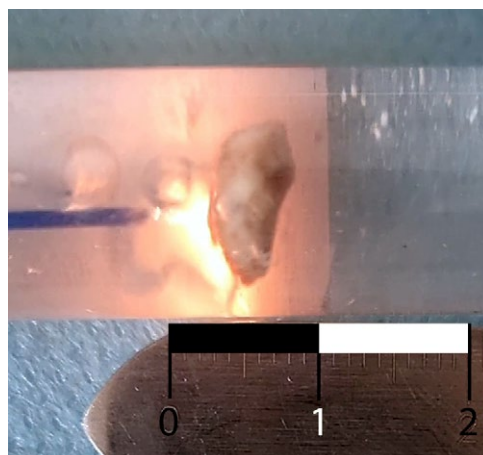


Рис. 2. Образование горячей искры при работе тулиевого лазера в режиме Fragmentation при максимальном значении энергии и частоты импульса

Fig. 2. The formation of a burning spark during the operation of a thule laser in the Fragmentation mode at the maximum value of the pulse energy and frequency

### Значения эффекта ретропульсии при дроблении сиалолитов тулиевым лазером FiberLase U2 в эксперименте

Values of the effect of retropulsion when crushing sialolites with a thule laser FiberLase U2 in the experiment

Режим	Сиалолит	Энергия и частота импульса	Ретропульсия, мм
Popcorning	1	0,025 Дж, 240 Гц	2
	2		3
	1	0,1 Дж, 250 Гц	5
	2		6
	1	0,2 Дж, 175 Гц	8
	2		9
Dusting	1	0,1 Дж, 60 Гц	2
	2		3
	1	0,8 Дж, 43,8 Гц	7
	2		8
Fragmentation	1	1 Дж, 6 Гц	8
	2		9
	1	4,5 Дж, 7,8 Гц	10
	2		8

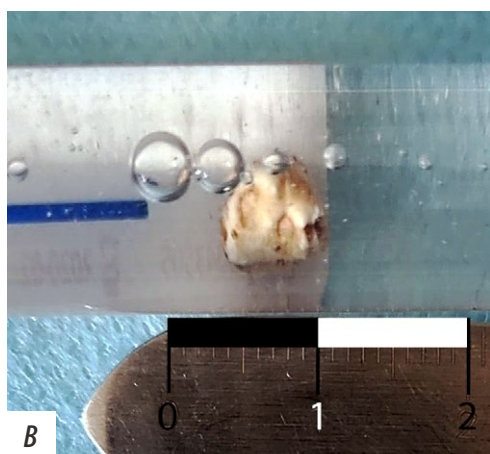
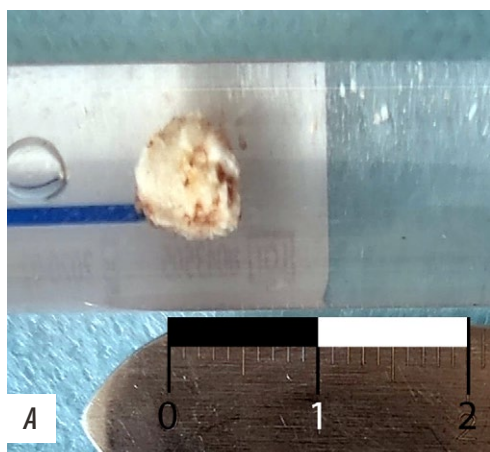


Рис. 3. Результат отбрасывания сиалолита при подаче лазерного импульса в режиме Popcorning при максимальных заданных параметрах: **A** — положение до лазерного удара, **B** — сразу после лазерного удара  
Fig. 3. The result of sialolite discarding when a laser pulse is applied in Popcorning mode at the maximum set parameters: **A** — position before the laser strike, **B** — immediately after the laser strike

от кончика волокна, однако на меньшую длину в сравнении с результатами первого этапа эксперимента. Исключением стал режим Fragmentation. В последнем величина эффекта ретропульсии близка к ранее полученной при максимальных параметрах (см. таблицу). Также во всех трех режимах мы наблюдали возникновение пузырьков воздуха, мелких фрагментов и образование кратерообразных очагов на поверхности камней, но меньшего объема и диаметра. При исследовании режима Popcorning при средней мощности (частота импульсов — 250 Гц, пульсовая энергия — 0,1 Дж) образовывались крупные пузырьки воздуха, которые вместе с отколовшимися фрагментами собирались на проксимальном конце трубки. Раствор становился мутным, визуализация нарушалась, как и при дроблении в максимальных значениях энергии и частоты импульса. В момент подачи импульса эпизодически возникала искра, сопровождающаяся скачкообразным движением камня. Фрагментация во всех трех режимах при минимальных значениях протекала заметно медленнее, чем при дроблении при максимально установленных значениях лазера.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Для проведения эксперимента необходимо было создать модель, которая будет имитировать работу в протоке и позволит оценить эффект ретропульсии. За основу мы взяли прототип, ранее предложенный другими авторами [16, 17], и модифицировали его. Наша модель имела измерительную линейку, также процесс дробления проходил при видеофиксации. Это позволило измерить



Рис. 4. Кратерообразные очаги обугливания на поверхности конкремента при работе в режиме Fragmentation  
Fig. 4. Crater-like foci of charring on the surface of the concretion when operating in Fragmentation mode



расстояние, на которое происходит отбрасывание камня от торца волокна, и наблюдать другие сопутствующие эффекты.

Раздробить сиалолиты удалось во всех трех режимах лазера FiberLase U2, независимо от энергии и частоты импульса. Увеличение мощности импульса приводило к откалыванию крупных фрагментов вместе с частицами в большом объеме, что ухудшало визуализацию, при этом дробление происходило быстрее.

Тулиевый лазер FiberLase U2 работает в импульсно-периодическом режиме и при поглощении излучения образуется парогазовый пузырь. При его схлопывании распространяется взрывная волна, которая разрушает камень, вместе с тем отбрасывая его от торца волокна.

Также мы наблюдали зоны обугливания на поверхности сиалолита, которые могут указывать на малое содержание воды в его структуре, в отличие от почечных камней. Локальный перегрев камня приводит к механическим напряжениям, как следствие, усиливает его разрушение и эффект ретропульсии.

Мы считаем, что увеличение мощности импульса приводит к повышению скорости фрагментации и, как следствие к повышению температуры промывной жидкости, что представляет опасность для тканей. Детального изучения требуют и другие эффекты, образующиеся в процессе дробления, в том числе влияние размера конкремента на величину эффекта ретропульсии,

а также сравнительное исследование литотрипсии тулиевым лазером FiberLase U2 и гольмиевым YAG-лазером.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Независимо от значения лазерной энергии ретропульсия (отбрасывание камня) наблюдалась в момент удара в каждом режиме аппарата FiberLase U2, при этом ее значение зависело от энергии и частоты лазерного импульса. Эксперимент показал, что применение лазера при максимальных параметрах в клинической практике может быть неэффективно и опасно для протокового аппарата железы. Дробление в режимах Porcorning при частоте 240 Гц и энергии импульса 0,025 Дж, Dusting при частоте 60 Гц и энергии 0,1 Дж сопровождалось минимальной ретропульсией из измеренных, при этом другие эффекты, возникающие в процессе фрагментации также отличались наименьшей степенью выраженности. Необходимо проведение дальнейших экспериментальных и клинических исследований.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

**Поступила:** 25.10.2022      **Принята в печать:** 20.01.2023

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

**Received:** 25.10.2022      **Accepted:** 20.01.2023

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

1. Marchal F, Dulguerov P, Becker M, Barki G, Disant F, Lehmann W. Specificity of parotid sialendoscopy. — *Laryngoscope*. — 2001; 111 (2): 264—71. [PMID: 11210873](#)
2. Жучкова Д.В., Сысолятин С.П., Банникова К.А. Первый опыт лазерной литотрипсии при сиалолитиазе. — *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина*. — 2022; 2: 170—179  
[Zhuchkova D.V., Sysolyatin S.P., Bannikova K.A. The first experience of laser lithotripsy in sialolithiasis. — *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Medicine*. — 2022; 2: 170—179 (In Russ.)]. [eLibrary ID: 48694353](#)
3. Банникова К.А., Босых Ю.Ю., Гайтова В.Г., Сысолятин П.Г., Сысолятин С.П. Показания к применению метода эндосиалоскопии при сиалолитиазе. — *Современные технологии в медицине*. — 2020; 3: 41—46  
[Bannikova K.A., Bosykh Yu.Yu., Gaitova V.G., Sysolyatin P.G., Sysolyatin S.P. Indications for the use of sialoendoscopy in sialolithiasis. — *Modern Technologies in Medicine*. — 2020; 3: 41—46 (In Russ.)]. [eLibrary ID: 43820364](#)
4. Sionis S., Caria R.A., Trucas M., Brennan P.A., Puxeddu R. Sialoendoscopy with and without holmium:YAG laser-assisted lithotripsy in the management of obstructive sialadenitis of major salivary glands. — *Br J Oral Maxillofac Surg*. — 2014; 52 (1): 58—62. [PMID: 24280118](#)
5. Koch M., Hung S.H., Su C.H., Lee K.S., Iro H., Mantsopoulos K. Intraductal lithotripsy in sialolithiasis with two different Ho:YAG lasers: presetting parameters, effectiveness, success rates. — *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. — 2019; 23 (13): 5548—5557. [PMID: 31298306](#)
6. Faklaris I., Bouropoulos N., Vainos N.A. Sialolithiasis: Application parameters for an optimal laser therapy. — *J Biophotonics*. — 2020; 13 (7): e202000044. [PMID: 32277604](#)
7. Koch M., Schapher M., Mantsopoulos K., Iro H. Intraductal lithotripsy in sialolithiasis using the Calculase III™ Ho:YAG laser: first experiences. — *Lasers Surg Med*. — 2021; 53 (4): 488—498. [PMID: 32997838](#)
8. Schrötzlmair F., Müller M., Pongratz T., Eder M., Johnson T., Vogeser M., von Holzschuher V., Zengel P., Sroka R. Laser lithotripsy of salivary stones: Correlation with physical and radiological parameters. — *Lasers Surg Med*. — 2015; 47 (4): 342—9. [PMID: 25788338](#)
9. Martellucci S., Pagliuca G., de Vincentiis M., Greco A., Fusconi M., De Virgilio A., Gallipoli C., Gallo A. Ho:Yag laser for sialolithiasis of Wharton's duct. — *Otolaryngol Head Neck Surg*. — 2013; 148 (5): 770—4. [PMID: 23462654](#)
10. Capaccio P., Torretta S., Pignataro L., Koch M. Salivary lithotripsy in the era of sialendoscopy. — *Acta Otorhinolaryngol Ital*. — 2017; 37 (2): 113—121. [PMID: 28516973](#)
11. Traxer O., Keller E.X. Thulium fiber laser: the new player for kidney stone treatment? A comparison with Holmium:YAG laser. — *World J Urol*. — 2020; 38 (8): 1883—1894. [PMID: 30729311](#)

12. Enikeev D., Grigoryan V., Fokin I., Morozov A., Taratkin M., Klimov R., Kozlov V., Gabdullina S., Glybochko P. Endoscopic lithotripsy with a SuperPulsed thulium-fiber laser for ureteral stones: A single-center experience. — *Int J Urol.* — 2021; 28 (3): 261—265. [PMID: 33258271](#)
13. Мартов А.Г., Баранов А.В., Биктимиров Р.Г., Альпин Д.М., Биктимиров Т.Р. Применение лазерного излучения в урологии. — *Лазерная медицина.* — 2020; 1: 57—62  
[Martov A.G., Baranov A.V., Biktimirov R.G., Alpin D.M., Biktimirov T.R. Application of laser radiation in urology. — *Laser Medicine.* — 2020; 1: 57—62 (In Russ.)]. [eLibrary ID: 43959831](#)
14. Мартов А.Г., Ергаков Д.В., Гусейнов М.А., Андронов А.С., Дутов С.В., Винниченко В.А., Коваленко А.А. Первоначальный опыт клинического применения тулиевой контактной литотрипсии в трансуретральном лечении мочекаменной болезни. — *Урология.* — 2018; 1: 112—120  
[Martov A.G., Ergakov D.V., Guseinov M.A., Andronov A.S., Dutov S.V., Vinnichenko V.A., Kovalenko A.A. Initial experience in clinical application of thulium laser contact lithotripsy for transurethral treatment of urolithiasis. — *Urologija.* — 2018; 1: 112—120 (In Russ.)]. [eLibrary ID: 32582512](#)
15. Blackmon R.L., Irby P.B., Fried N.M. Comparison of holmium:YAG and thulium fiber laser lithotripsy: ablation thresholds, ablation rates, and retropulsion effects. — *J Biomed Opt.* — 2011; 16 (7): 071403. [PMID: 21806249](#)
16. Hardy L.A., Wilson C.R., Irby P.B., Fried N.M. Thulium fiber laser lithotripsy in an in vitro ureter model. — *J Biomed Opt.* — 2014; 19 (12): 128001. [PMID: 25518001](#)
17. Золотухин С.Ю. Эндоскопические технологии в лечении больных слюнокаменной болезнью: автореф. дис... к.м.н. — М.: ЦНИИСиЧЛХ, 2021. — 24 с.  
[Zolotukhin S.Yu. Endoscopic technologies in the treatment of patients with salivary stone disease: dissertation abstract. — Moscow: Central Research Institute of Dentistry and Maxillofacial Surgery, 2021. — 24 p. (In Russ.)].