

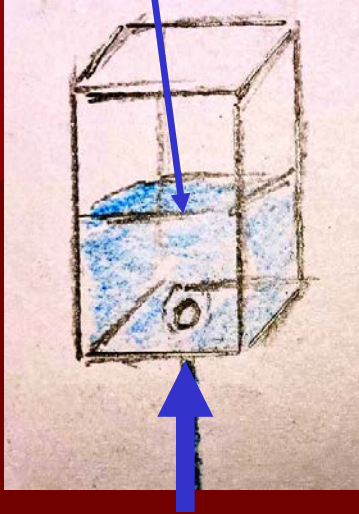
Термокавитационные эффекты в хирургической практике

Абушкин И.А.^{1, 2}, Чудновский В.А.³ Гузев М.А.⁴, Плантус М.М.⁶,
Анчугова А.Е.⁵, Галиулин М.Я.¹

1. Южно-Уральский государственный медицинский университет
2. Центр медицинских лазерных технологий
3. Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН
4. Институт прикладной математики ДВО РАНЗ
5. Челябинский государственный университет
6. Балтийская центральная районная больница



Поглощающая жидкость -
вода или этанол с органическим красителем,
 $\alpha = 100 \text{ см}^{-1}$



Аргонный лазер – синий 488 нм.,
непрерывное излучение

При плотностях мощности излучения $>10^6 \text{ Вт/см}^2$, жидкость вскипала, что сопровождалось образованием множества мелких всплывающих пузырьков и характерным хаотическим треском.

При плотности мощности $(0,4—1) \cdot 10^4 \text{ Вт/см}^2$ с частотой 20-1000 Гц образовывался и схлопывался одиночный пузырек максимальным размером 1 мм и временем жизни 0,1-0,7 мс, процесс его схлопывания сопровождался сильным гидравлическим ударом.

Термокавитация

1. В лазерном кавитаторе нагревателем служит часть объема жидкости, в котором термализуется оптическое излучение, а холодильником - остальная жидкость
2. Лазерный кавитатор представляет собой тепловую машину, которая "сама собой" преобразует тепло, запасенное в перегретой жидкости, в кинетическую энергию движения жидкости

С. Ф. Растопов, А. Т. Суходольский Самоорганизация теплового цикла при термокавитации в процессе непрерывного лазерного нагрева жидкости,
Докл. АН СССР, 1987, том 295, номер 5, 1108–1112

Medical short-wave infrared (SWIR) lasers
Медицинские лазеры коротковолнового инфракрасного диапазона
(SWIR* – 1.4-3 μm)



1,55 + 1,94 μm

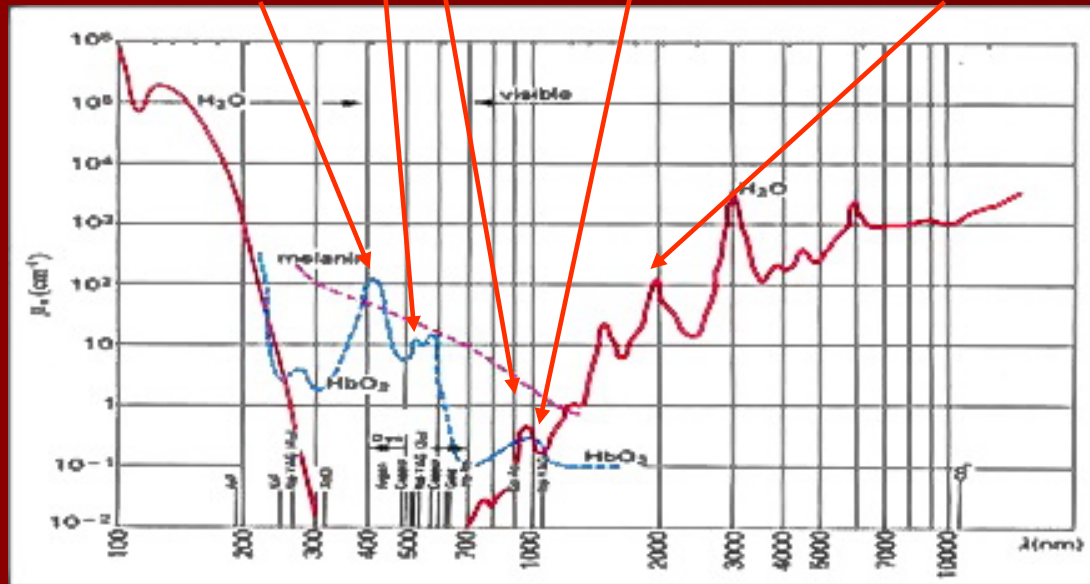


1,91 μm



Absorption coefficients of oxyhemoglobin, melanin and water depending on the wavelength of laser radiation (μm)

0.45 0.52 0.97 1.064 1.56 1.9



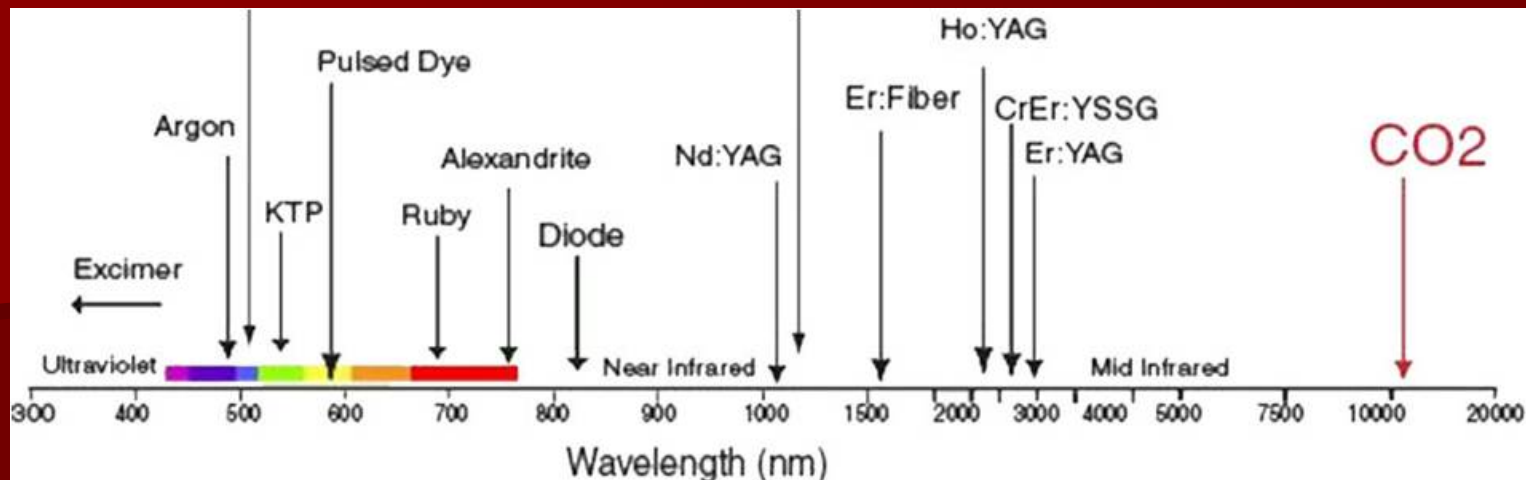
0,45 – blue

0.52 0 –green

0.595 – orange
(Pulsed Dye)

0.97-1.064 –
NIR

1.56 -1.9 – 3.0
SWIR

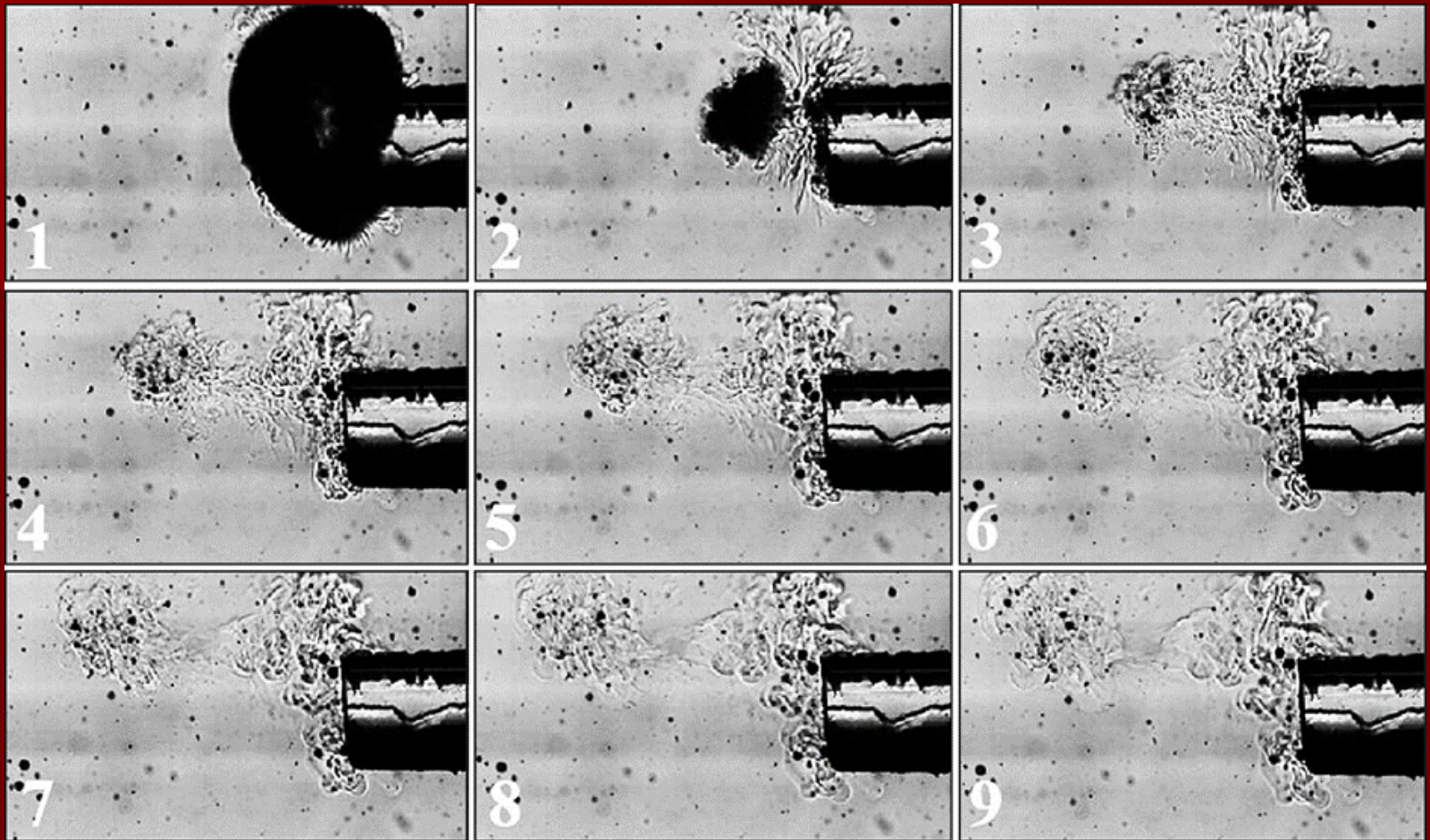


Optical fiber of the quartz-quartz type with direct radiation output (flat end)

Diameter 400 or 600 μm , End area 0.13-0.28 mm^2

At a power of 4 W, the power density at the end is 30.8-14.3 MW/m^2 !!!





Laser or thermal cavitation

On the end surface of the fiber: absorption of laser radiation, boiling, formation and collapse of a bubble with the formation of jets (1-9).

На торце волокна – поглощение излучения, образование и схлопывание пузыря с формированием струй.
 Radiation (излучение) 1.94 μm . Power (мощность) 1.3 W. Fiber (волокно) 0.4 mm (0.13 mm^2). Power density at the end 10 MW/m^2 .

Shooting speed (скорость съемки) 10,000 f/s. Frame duration (длительность кадра) 10 μs .

Treatment of lymphangioma of the upper limb and chest wall: 1.9 μm laser ablation and thermotherapy of lymphangioma - thermocavitation (supercooled boiling) – 05.2011

2013 - TV Russia 1; 2013 - WOFAPS (Berlin, Germany)



Congress of Pediatric Surgery
Children's Surgery with Competence & Heart
October 13th – 16th, 2013 - Berlin - Germany





Institute of Applied Mathematics Vladivostok (digital analysis and modeling)

(цифровой анализ и моделирование)

Pacific Oceanological Institute (acoustics, high-speed photography, etc.) (акустика, высокоскоростная съемка)



Academician, Doctor of Physical and Mathematical Sciences V.M. Guzev (in the center), Doctor of Biological Sciences, Candidate of Physical and Mathematical Sciences V.M. Chudnovsky (on the right)

Study design Дизайн исследования

Clinic - ?



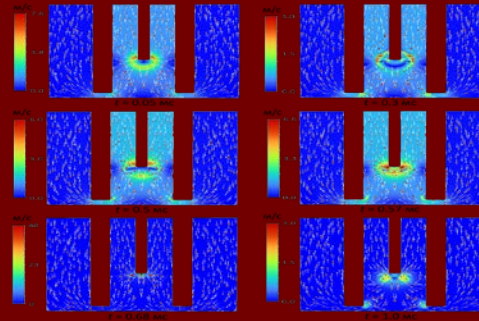
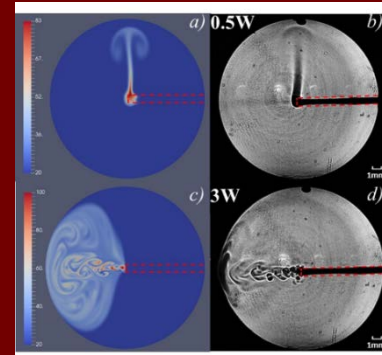
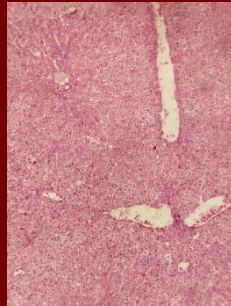
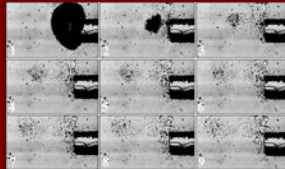
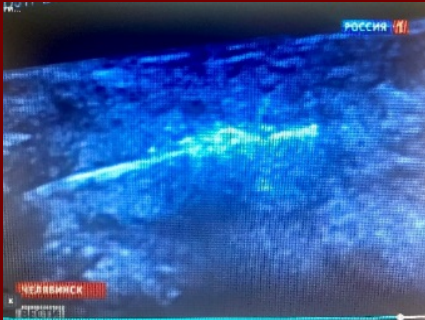
Experiment:
physical
In vitro
In vivo



Mathematical model



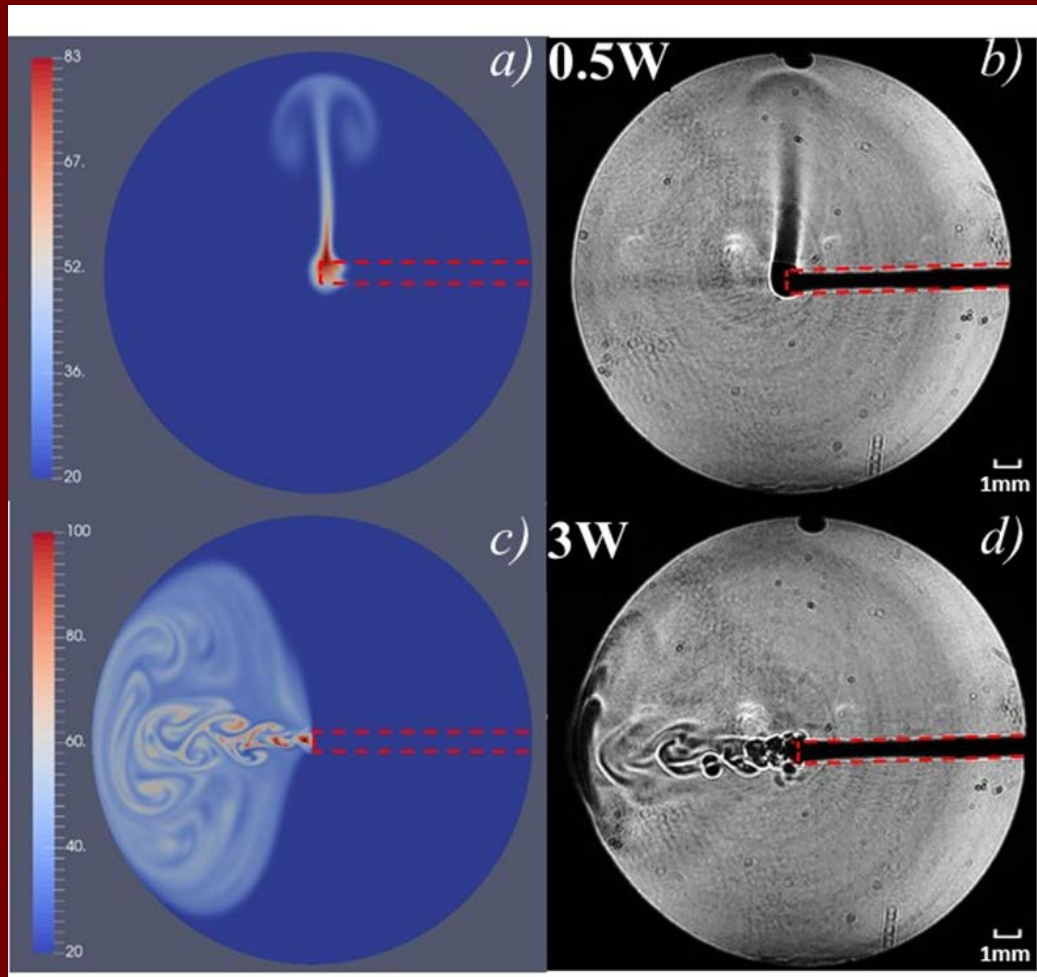
Clinical technology



Spread of a hot liquid jet from a FeO-coated light guide. Heat transfer path;
Распространение струи горячей жидкости от световода покрытого FeO.

a, c – mathematical model

b, d – experiment



0.5 W free convection

3 W - forced convection

Термокавитация в среде 0.9% NaCl с образованием горячих затопленных струй

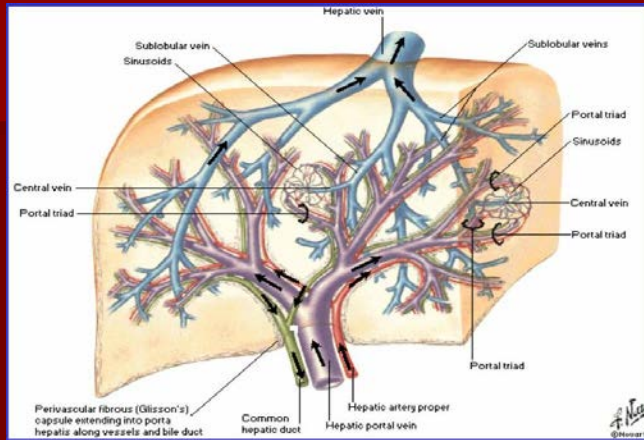
Излучение 1.9 мкм, непрерывное, 4 Вт, оптическое волокно 0.4 мм, площадь торца 0.13 мм², плотность мощности 13.8 МВт/м²

Оптическое волокно

Термопара



Model - pig (in vitro) and rabbit (in vivo) liver. Laser interstitial thermotherapy under ultrasound control in real time

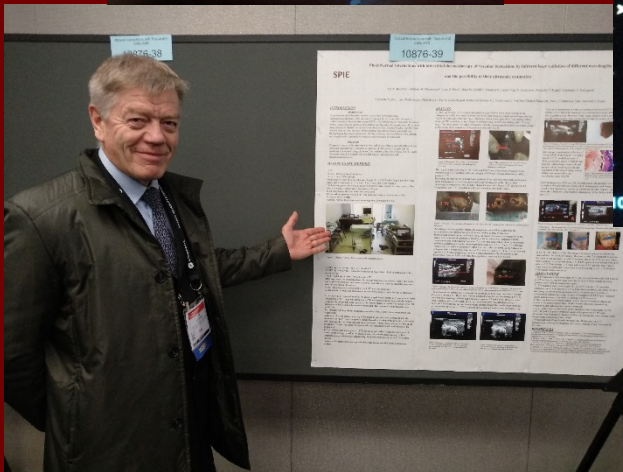


Photonixx West 2019, San Francisco

Laser induced subcooled boiling and heat propagation through vessels by forced convection in pig liver in vitro, rabbit liver in vivo, tubular and cystic structures of vascular anomalies in the clinic

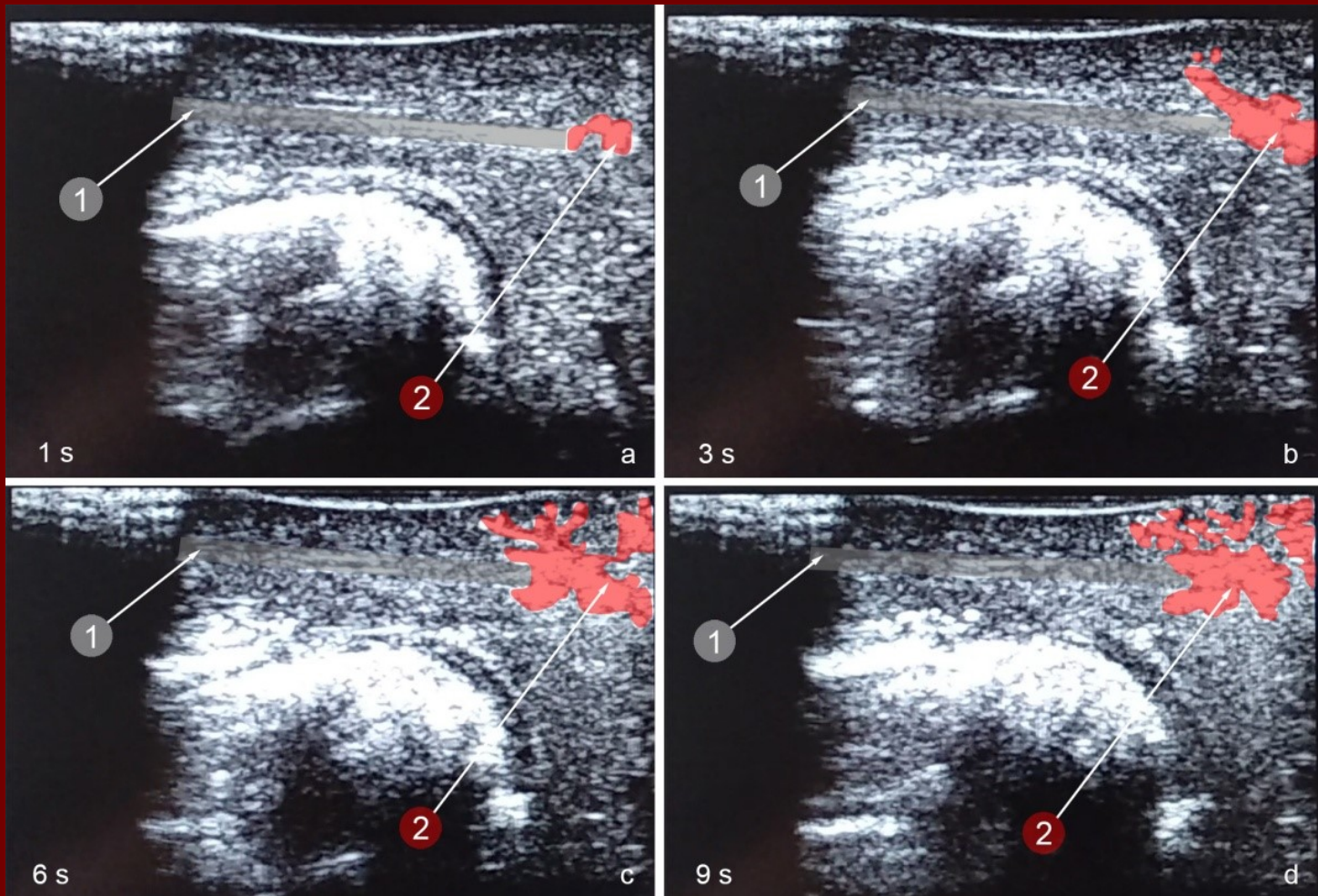
Лазер индуцированное недогретое кипение и распространение тепла по сосудам путем вынужденной конвекции

в печени свиньи in vitro, печени кролика in vivo, тубулярных и кистозных структурах сосудистых аномалий в клинике



Echogram of blood boiling in the vicinity of the end of an optical fiber in the liver vessels of a rabbit at different moments of time at 1, 3, 6 and 9 seconds from the onset of laser radiation with a wavelength of 1.9 μm .

Эхограмма кипения крови вблизи конца оптического волокна в сосудах печени кролика в различные моменты времени: через 1, 3, 6 и 9 секунд после начала лазерного излучения с длиной волны 1,9 мкм.
1. optical fiber (400 μm), 2. the boiling region (область кипения), 6s - fan-shaped distribution of hot jets (веерное распространение горячих струй)

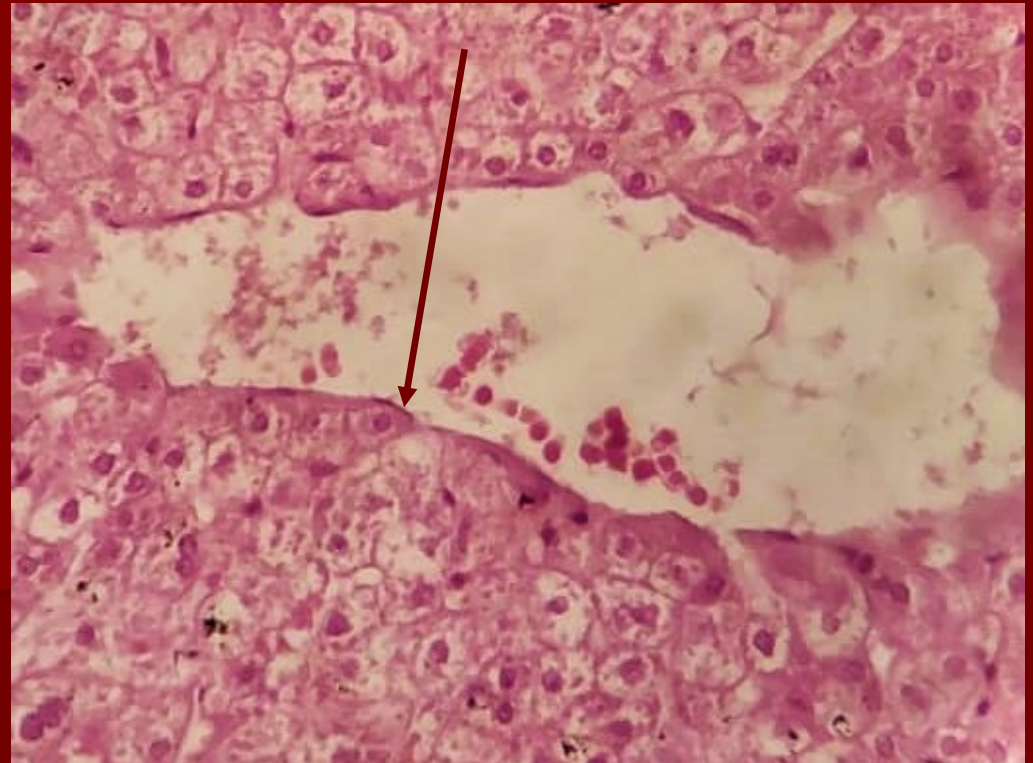


Endothelial lesion of a vessel with a diameter of 0.1 mm outside the coagulation focus of the rabbit liver *in vivo* by double (1.5 + 1.9 μ m) radiation (indicated by arrows)

Hematoxylin-eosin staining. Magnification 10x0.25 and 40x0.65

Поражение эндотелия сосуда диаметром 0.1 мм кнаружи от очага коагуляции печени кролика *in vivo* двойным (1,5+1,9 мкм) излучением (указано стрелками)

Окраска гематоксилин-эозин. Увеличение 10x0.25 и 40x0.65



Venous malformation of the right foot Echogram during and after 1.55+1.94 μm -LITT light guide and vapor-gas bubbles (submerged hot jets)

Венозная мальформация правой стопы

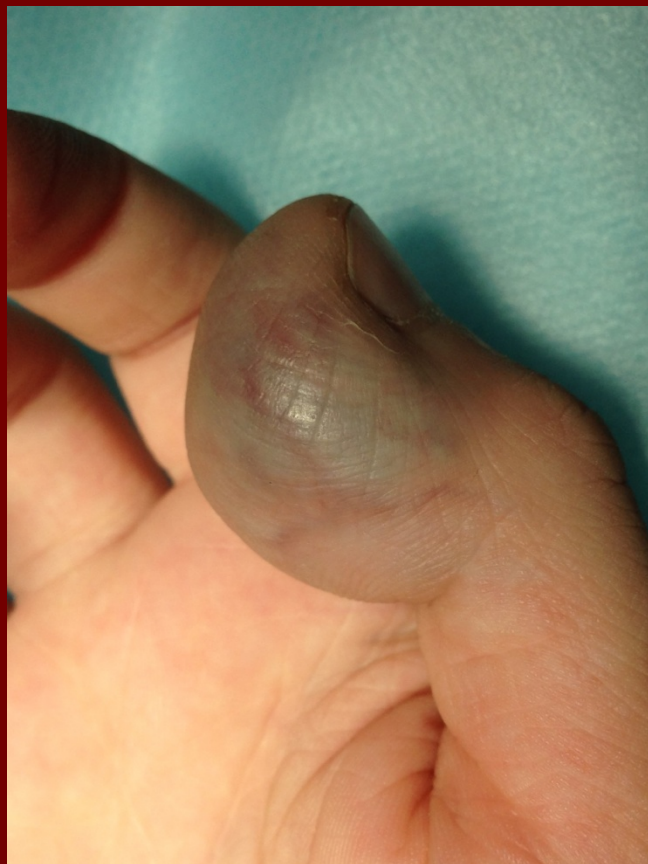
Эхограмма во время и после 1,55+1,94 мкм-ЛИТТ световод и парогазовые пузырьки (затопленные горячие струи)



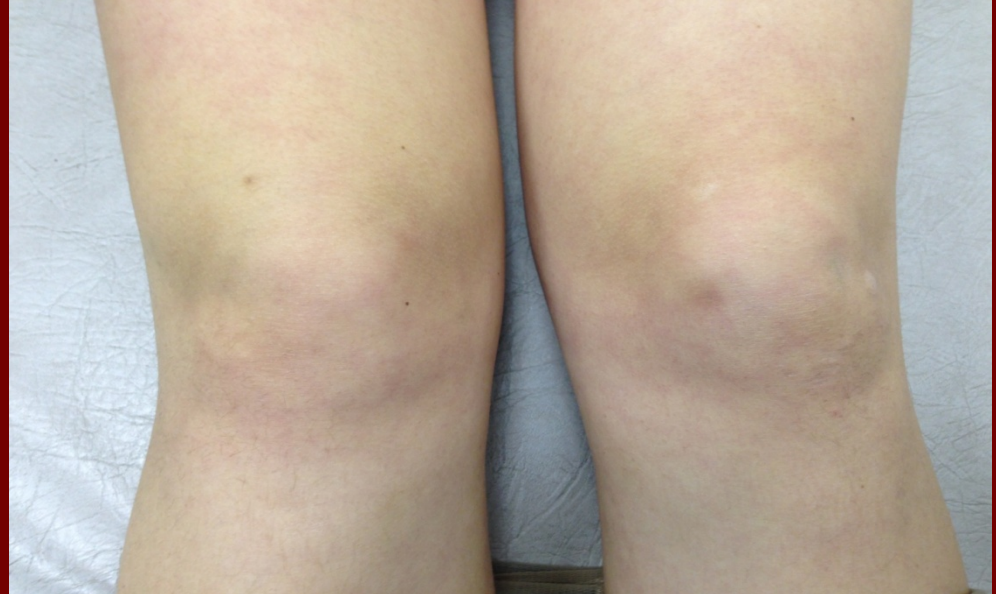
Venous malformation of the right foot.
Appearance before and after $1.55+1.94\ \mu\text{m}$ – LITT (1 session)
Венозная мальформация правой стопы
Внешний вид до и после одного сеанса $1,55+1,94\ \mu\text{м}$ - ЛИТТ



Venous malformation of the first finger of the right hand Before and after interstitial 1.56 μm laser thermotherapy (1 session)



Arteriovenous malformation in the left knee joint area Before and after
1.56 μm laser thermotherapy (3 sessions)



Venous malformation of the orbit of the left eye.

1.3 yr. – OPT, subtotal excision., 2yr. – Propranolol for 3 m., 2 yr. 4 m. – 1.56 μ m LITT (1-4 after 4-5 m., 5-8 – after 6-12 m., 9 – after 1.5 yr. (9 sessions)



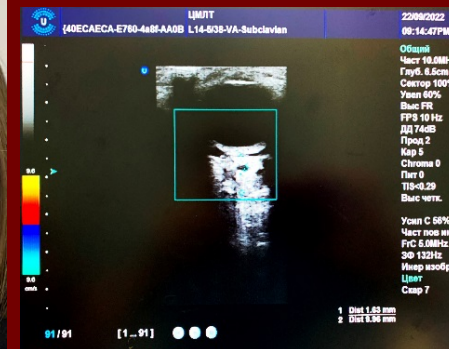
2yr. 4 m.



6 yr.10 m.



8 yr.





Arteriovenous malformation of the face on the left
before and after interstitial and non-contact 1.56
 μm laser thermotherapy (4 sessions)



Patient M., arteriovenous malformation of the upper jaw and face on the left.

Facial asymmetry since 03.2016 (12 years old). 05.2016 biopsy - bleeding - ligation of the left external carotid artery. 10.2016 - embolization of collateral branches of the internal carotid artery. 10.2016 - resection of the upper jaw with preservation of the alveolar process. 11.2016 - opening of an abscess of the face on the left. 2017-2018 - bleeding gums, facial asymmetry.

1.5 µm – LITT: 05 and 10.2018; 05.2019; 07.2020; 06.2021. (5 sessions)

04.2025 – asymmetry has decreased, teeth and gums are healthy



05.2018 – 14 yr.



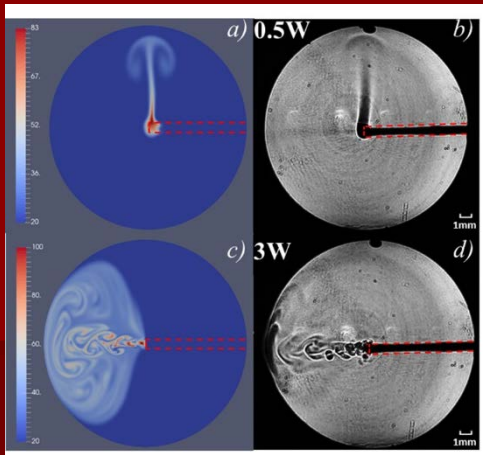
04.2025 – 21 yr.



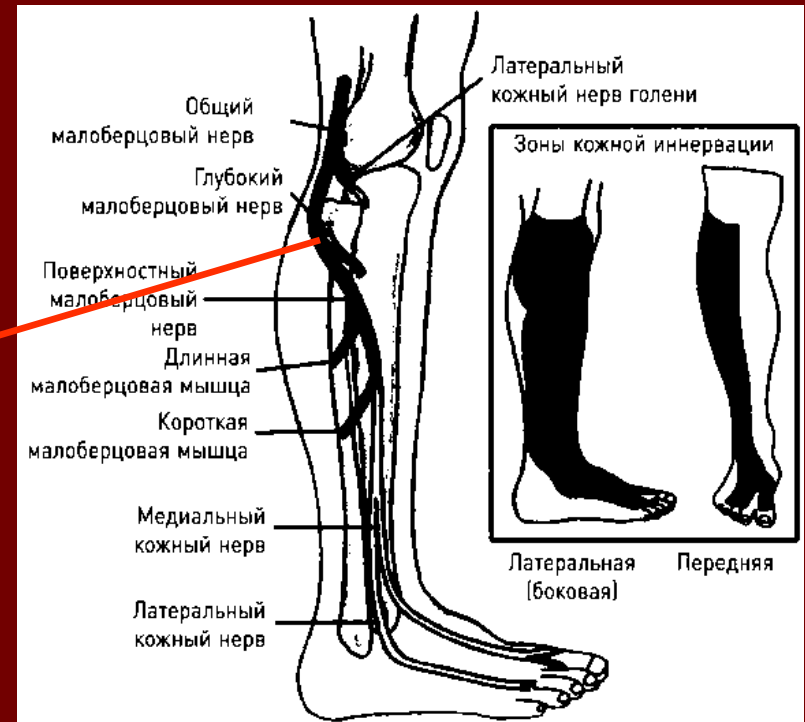
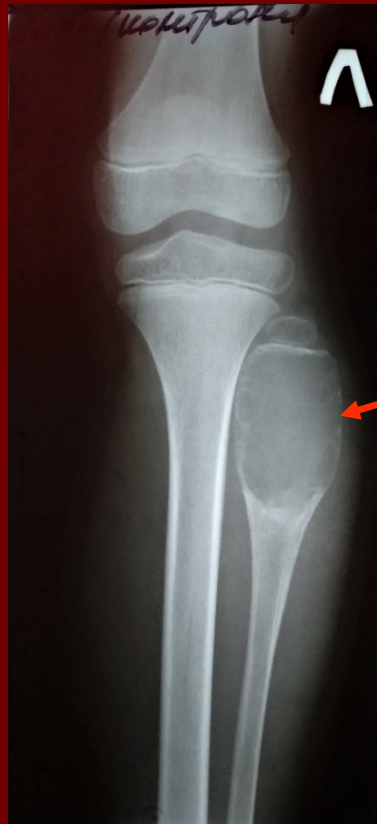
Frequency (%) of repeated LITT of vascular malformations – VM (76 p.) and AVM (69 p.) until a good clinical result is achieved – disappearance of pain, significant improvement in appearance

Частота (%) повторных ЛИТТ сосудистых мальформаций - ВМ (76 б-х) и АВМ (69 б-х) до получения хорошего клинического результата – исчезновение боли, существенное улучшение внешнего вида

NIR 0.97 or 1.064 μm	SWIR 1.5 μm VM-AVM	SWIR 1.5+1.9 μm VM-AVM
63-82	42-53	0-16.7

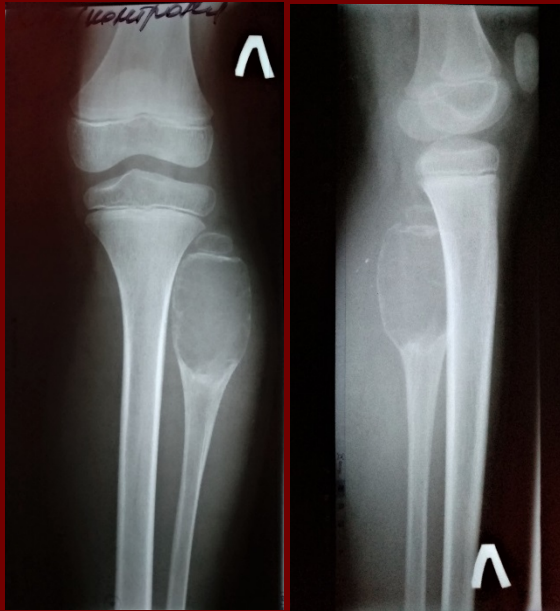


Aneurysmal cyst of the left fibula in a 10-year-old girl (0.97 μm laser thermotherapy - no effect)

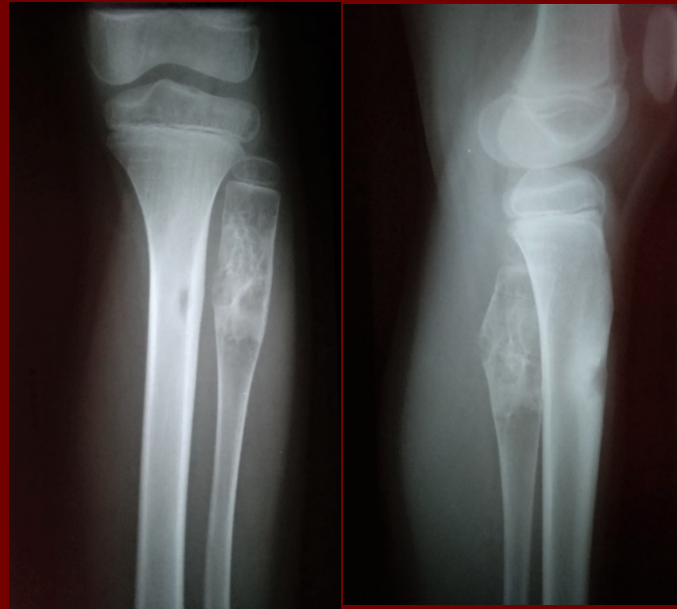


Aneurysmal cyst of the left fibula in a 10-year-old girl

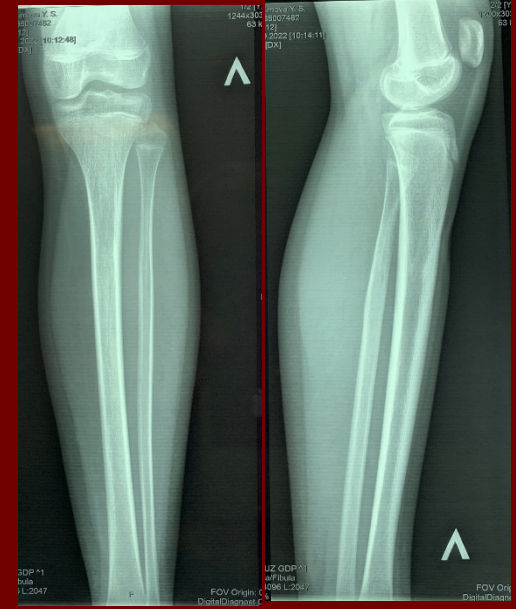
Before and after 1.56 μm intracystic laser thermotherapy (1 session):



a



b



c

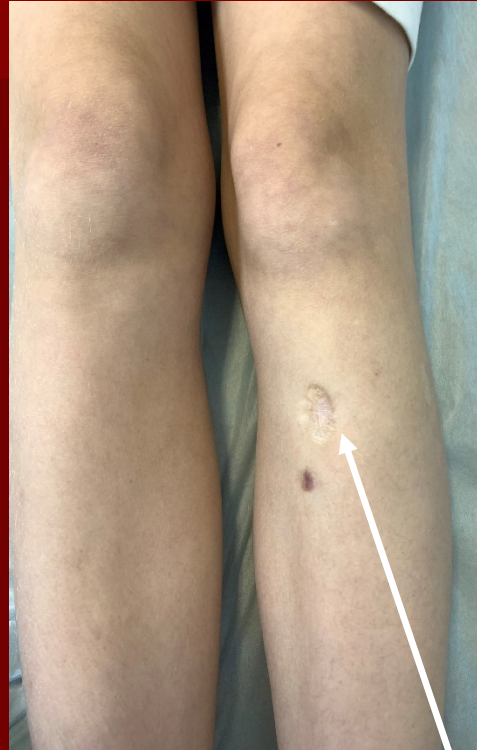
a - before b -in 7 months. c – in 2 years

Condition 2 years after a single 1.56 μm laser intracystic thermotherapy of an aneurysmal cyst in the third of the left fibula in a 12-year-old girl.
There are no disorders of the left lower limb function.



a

a – appearance;



b

b – atrophic scar after skin burn during LTT;



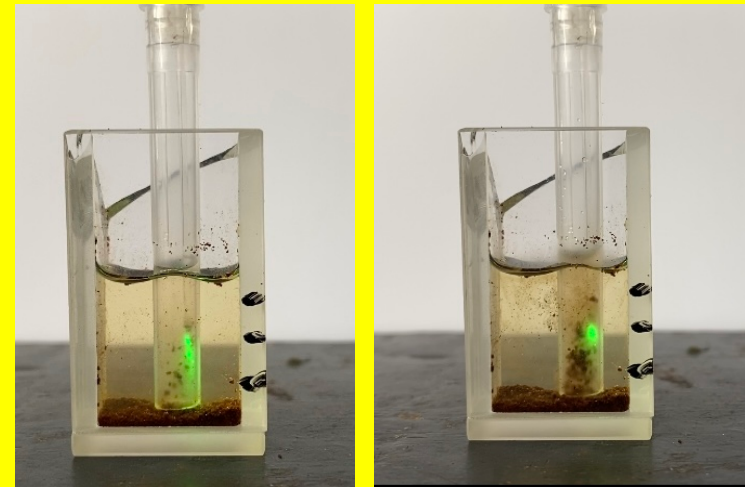
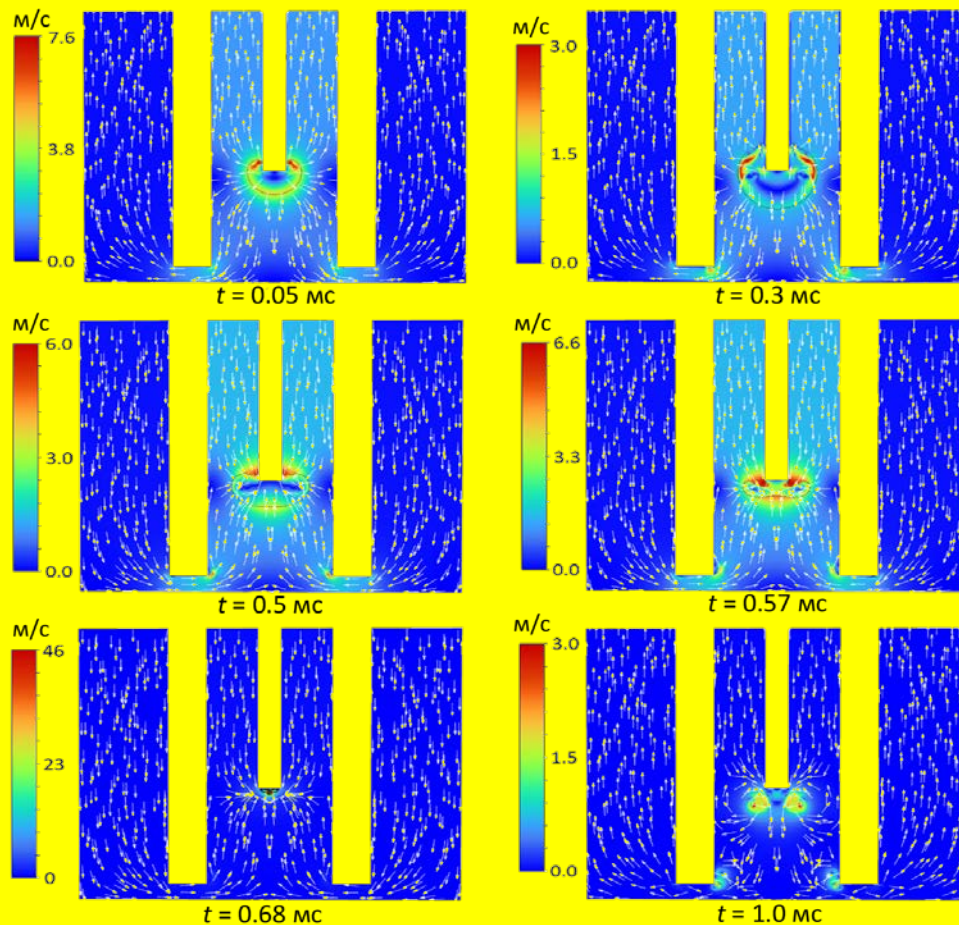
c

c – X-ray of the bones of the left leg

Laser cavitation in a tube – the suction effect after the bubble collapses

Лазерная кавитация в трубке – эффект всасывания после схлопывания пузырька

Mathematical model



Experiment with coffee

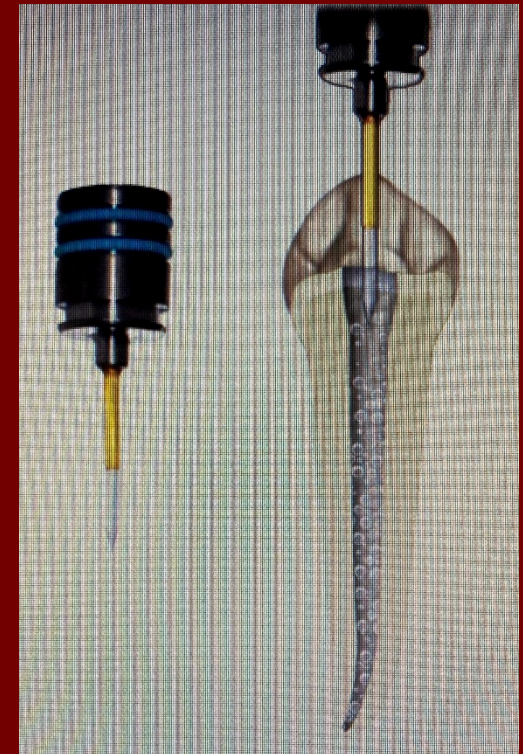
Experiment with coffee



Laser cavitation of acute and chronic infected wounds (RU patent No. 2842721 dated 01.07.2025)

prototype

Meire M., De Moor R.J.G. Principle and antimicrobial efficacy of laser-activated irrigation: A narrative review // International Endodontic Journal. - 2024. - N 7 (57). - P. 841-860. DOI: 10.1111/iej.14042.



Stand for laser-activated irrigation (cavitation) of a wound

1. Irrigator

2. solution infusion system

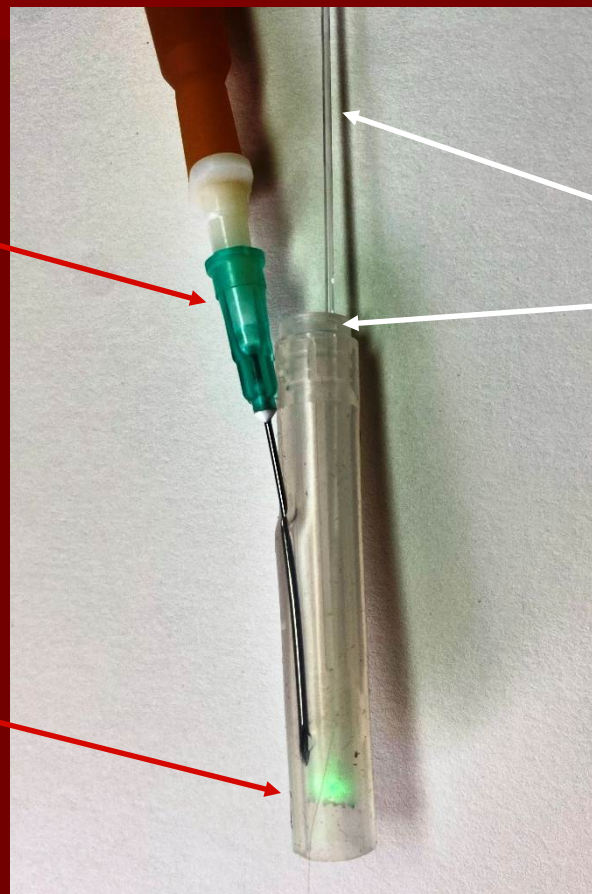
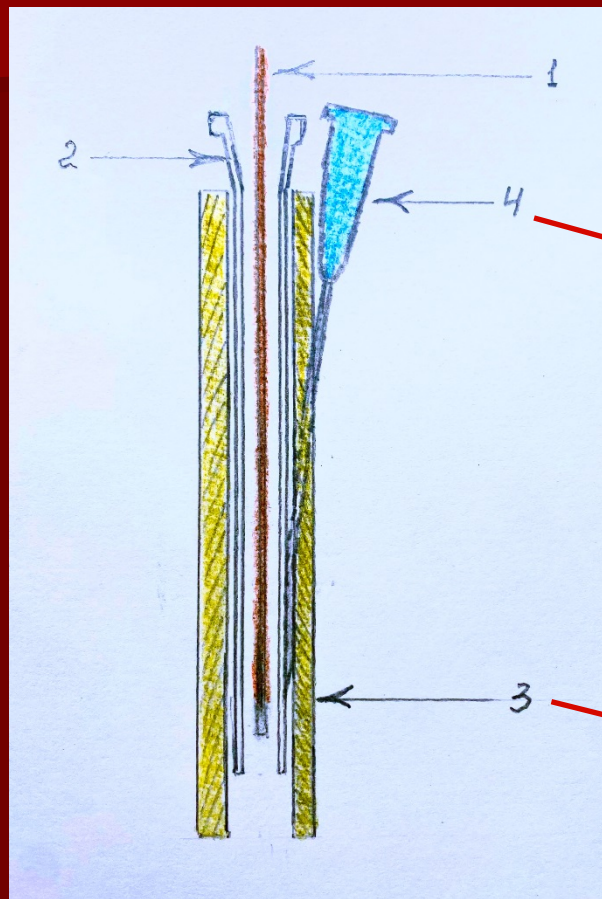
3. Optical fiber quartz-quartz secondary coating polyamide, diameter 600 microns

4. Laser device – radiation 1.91 microns, power 40 W

5. Sterile silicone tubes



Scheme and appearance of the working part of the laser cavicator



1. — Optical fiber (quartz-quartz), 600 μm
2. Plastic tube (cut off cap from intravenous needle)
3. —Silicone tube, length 55 mm, inner diameter 5 mm
4. — Needle for intravenous injections, length 40 mm, diameter 0.8 mm

Indications for LCW:

Use in complex treatment of infected acute and chronic wounds in conditions:

- of resistance of microorganisms to antibiotics
- tissue hypoxia
- impaired immune status of the patient
- gunshot wounds, including shrapnel wounds



Patient M, 12 years old

St.epidermidis,
10³ 27.01.25



16.01.25



22.01.25



24.01.25



28.01.25



30.01.25



30.01.25



05.02.25

21.11.24 – excision of an extensive nevus on the right shin, complicated by necrosis of the displaced counter skin flaps

16.01.25 – necrectomy

17.01-29.01 - 9 sessions of laser wound cavitation

30.01.25 – free skin grafting with a dermatome perforated flap



24.01.25

Patient K., 77 years old, post-thrombophlebitic syndrome, ulcer of the left leg

07.-17.06.2024

St. aureus 10^7

Enterobacter

aerogenes 10^7

Pseudomonas

stutzeri 10^7



10.06.



13.06.24



17.06.



18.06.



21.06.



24.06.



26.06.



02.07.



03.07.



08.07.



13.02.25



1.9 мкм - лазерная кавитационная шлифовка кожи (закипание воды в сосочковом слое с отслойкой эпидермиса)



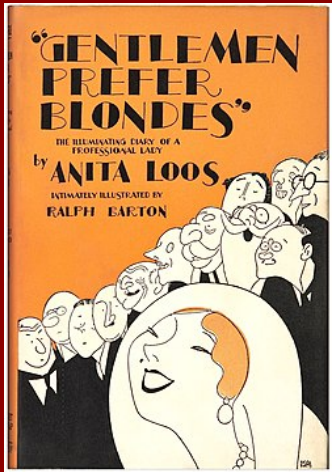
Conclusions

1. Thermotherapy of liquid pathological tubular and cystic structures with SWIR radiation, well absorbed by water, is accompanied by the effect of laser cavitation with the formation of hot flooded jets and effective heat transfer by forced convection
2. Thermotherapy of venous and arteriovenous malformations with dual $1.55 + 1.94 \mu\text{m}$ radiation is significantly more effective than that with $1.5 \mu\text{m}$ radiation, and especially with $- 0.97 \mu\text{m}$ radiation.

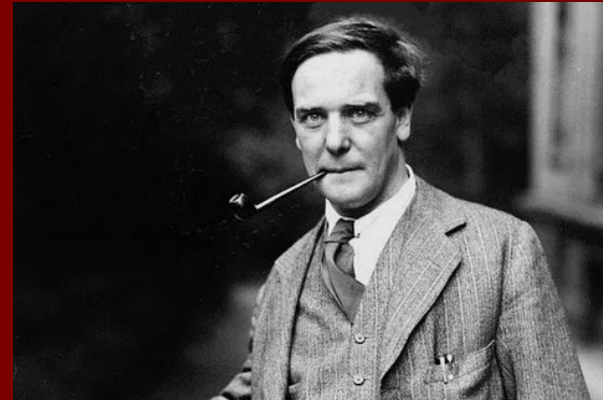
3. It is expected that laser cavitation of infected acute and chronic wounds, as well as laser-assisted irrigation of root canals, will be more effective than low-frequency ultrasonic cavitation of wounds

4. Laser cavitation technologies in surgery are minimally invasive, often outpatient and can be recommended for widespread use in clinical practice

5. Creation of laser technologies for surgery is a joint work of
Clinicians - Physicists – Mathematicians
with close interrelation of
Experiment - Theory - Practice



Love is a good thing, but a gold bracelet stays forever (Lorelei Lee, 1925)



Theory is a good thing, but a correct experiment remains forever (L.P. Kapitsa, 06.02.1962)

6. Working with in vitro models is an effective way to train doctors in laser technologies



ISSN (print) 0869-5873
ISSN (online) 3034-5200



Номер 8

Август 2025



ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

HERALD OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES



ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2025, № 8, с. 3–14

С КАФЕДРЫ ПРЕЗИДИУМА РАН

ПРИМЕНЕНИЕ КАВИТАЦИИ НА ЛАЗЕРНОМ НАГРЕВАТЕЛЬНОМ ЭЛЕМЕНТЕ В ХИРУРГИИ

© 2025 г. М.А. Гузев*, В.М. Чудновский**, И.А. Абушкин***

*Институт прикладной математики ДВО РАН, Владивосток, Россия

†Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток, Россия
‡Южно-Уральский государственный медицинский университет Минздрава России, Челябинск, Россия

*E-mail: guzev@iam.dvo.ru

**E-mail: vm53@mail.ru

***E-mail: ivanabushkin@mail.ru

Поступила в редакцию 13.03.2025 г.

После доработки 24.03.2025 г.

Принята к публикации 10.05.2025 г.

В статье рассматривается явление лазерной кавитации, инициированной на кончике погружённого в жидкость оптоволокна под действием непрерывного лазерного излучения. Исследуются свойства затопленных кумулятивных струй, возникающих при схлопывании кавитационных пузырьков. Показано, что в свободном пространстве струи переносят тепло через жидкость, а в случае кавитации внутри заполненной жидкостью трубки приводят к инверсионному движению жидкости. Практическое использование установленных эффектов в медицине позволяет более успешно проводить хирургическое лечение сосудистых заболеваний, кист, острых и хронических инфицированных ран.

Ключевые слова: лазер, кавитация, численное моделирование, острые и хронические инфицированные раны, коагуляция кист и сосудов.

DOI: 10.31857/S0869587325080016, **EDN:** DSVYFC

Разработка биомедицинских технологий — необходимое условие развития высокотехнологичной медицинской помощи. Малоинвазивные медицинские технологии с использованием лазерного излучения позволяют совершенствовать терапию в случае устойчивости микроорганизмов к антибиотикам, гипоксии тканей и нарушения иммунного статуса пациента. В частности, при лечении острых и хронических инфицированных ран и сосудистых заболеваний лазерные малоинвазивные технологии,

помимо радикального сокращения сроков выздоровления, существенно снижают риск осложнений, в том числе инфекционных.

Свойства лазерной кавитации. Учёные из Института прикладной математики ДВО РАН (ИПМ ДВО РАН), Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН (ТОИ ДВО РАН) и Южно-Уральского государственного медицинского университета (ЮУГМУ) предложили новый способ лечения ран и устранения патологических



ГУЗЕВ Михаил Александрович — академик РАН, директор ИПМ ДВО РАН.
ЧУДНОВСКИЙ Владимир Михайлович — доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник ТОИ ДВО РАН.
АБУШКИН Иван Алексеевич — доктор медицинских наук, профессор кафедры общей и детской хирургии ЮУГМУ.

Welcome to the Southern Urals!

(Yuryuzan River)



Arkaim is a city of
the third-second
millennium BC



Two-wheeled drawbar chariot



Lake Turgoyak

Taganay National
Park

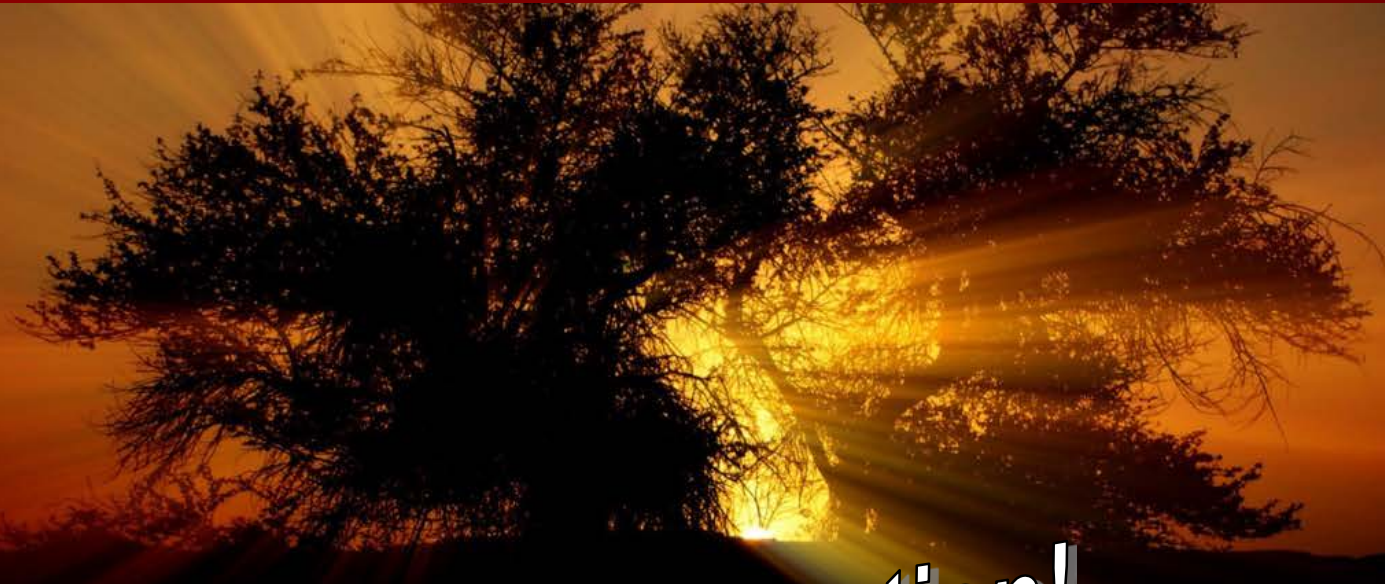




International
Day of Light

16 May

Photo Credit:
Kobbie Pessach



Thank you for your attention!
May 16 is the International Day of Light



International
Day of Light

16 May

Photo Credit:
Markus Corso

