

ISSN 1995-5464 (Print); ISSN 2408-9524 (Online)

<https://doi.org/10.16931/1995-5464.2024-1-90-99>

Лазерная литотрипсия в протоке поджелудочной железы

Невмержицкий Н.В.¹, Рогаль М.Л.², Ярцев П.А.², Тетерин Ю.С.²,
Сеньковский Е.Д.¹, Левкина Е.В.¹, Кочетков Д.О.¹

¹ ФГУП “Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики”; 607188, Саров, Нижегородская обл., Российская Федерация

² ГБУЗ города Москвы “Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗ г. Москвы”; 129090, Москва, Большая Сухаревская площадь, д. 3, Российская Федерация

Цель. Подтвердить результатами лабораторных экспериментов и медицинской практики возможность мини-инвазивного дробления конкрементов в протоке поджелудочной железы лазерным методом.

Материал и методы. В лабораторных экспериментах для дробления конкрементов создан полнофункциональный аппаратный комплекс, состоящий из импульсной лазерной установки, видеоэндоскопической системы и системы охлаждения. Применяли методы микроскопической видеорегистрации процесса дробления, измерения давления и температуры в зоне конкремента. Использовали конкременты из поджелудочной железы, желчные конкременты человека и их имитаторы; желудочно-кишечный тракт был изготовлен из силикона, поджелудочная железа – из студня водного раствора желатина. Использовали также и поджелудочную железу свиньи. В клинической практике пациенту с вируснолитиазом назначали УЗИ и КТ, затем выполняли эндоскопическую папиллосфинктеротомию, эндоскопическую панкреатикоскопию, лазерную литотрипсию и литэкстракцию, стентирование протока поджелудочной железы. Использовали лазерную установку, видео-дуоденоскоп, катетер и их видеосистемы.

Результаты. В лабораторных экспериментах установлено, что эффективное и безопасное лазерное дробление конкрементов 4 × 7 мм на фрагменты 0,1–2 мм происходит в присутствии проточной жидкости перед конкрементом при длительности лазерных импульсов 1 мкс, частоте 5–15 Гц и энергии лазерной установки 120–150 мДж. После разрушения конкремента энергией лазера у пациента с вируснолитиазом и удаления фрагментов из протока пациент был выписан из стационара на 12-е сутки в связи с улучшением состояния здоровья.

Заключение. Доказана возможность мини-инвазивного дробления конкрементов в протоке поджелудочной железы методом лазерной литотрипсии.

Ключевые слова: конкремент; поджелудочная железа; литотрипсия; вируснолитиаз; дробление

Ссылка для цитирования: Невмержицкий Н.В., Рогаль М.Л., Ярцев П.А., Тетерин Ю.С., Сеньковский Е.Д., Левкина Е.В., Кочетков Д.О. Лазерная литотрипсия в протоке поджелудочной железы. *Анналы хирургической гепатологии*. 2024; 29 (1): 90–99. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.2024-1-90-99>.

Работа выполнена в рамках реализации проекта ЕОТП-ЯМ-117. Заказчик и правообладатель экспериментальной части – АО “Наука и инновации” Госкорпорации “Росатом”, правообладатель медицинской части – НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Laser lithotripsy for pancreatic duct stones

Nevmerzhitskiy N.V.¹, Rogal M.L.², Yartsev P.A.², Teterin Yu.S.²,
Sen'kovskiy E.D.¹, Levkina E.V.¹, Kochetkov D.O.¹

¹ Federal State Unitary Enterprise “Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics”; 37, Nizhegorodskaya reg., Mira Ave, Sarov, 607188, Russian Federation

² Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of Health Department of Moscow; 3, Bolshaya Sukharevskaya str., Moscow, 129090, Russian Federation

Aim. To confirm the possibility of minimally-invasive laser procedure for fragmentation of stones in the pancreatic duct following the results of laboratory experiments and medical practice.

Materials and methods. A fully functional hardware complex consisting of a pulsed laser unit, video endoscopic system and cooling system was created for experimental stone fragmentation in laboratory. The experiments involved microscopic video registration of the fragmentation process, pressure and temperature measurement in the stone area.

Pancreatic stones, human and artificial gallstones as well as porcine pancreas were used in the experiments; the gastrointestinal tract was made of silicone, the pancreas was made of gelatin aqueous solution jelly. In clinical practice, a patient with lithiasis of Wirsung's duct was assigned to ultrasound and CT, then endoscopic papillosphincterotomy, endoscopic pancreatoscopy, laser lithotripsy and lithoextraction, pancreatic duct stenting. The procedures involved a laser unit, videoduodenoscope, catheter and their video systems.

Results. The laboratory experiments established that effective and safe laser fragmentation of stones from 4×7 mm into 0.1–2 mm occurs in the flowing fluid in front of the stone at 1 μ s laser pulse duration, 5–15 Hz frequency and 120–150 mJ laser energy. After laser fragmentation of the stone in a patient with virsungolithiasis and removal of fragments from the duct, the patient was discharged from the hospital on the 12th day due to improvement of health condition.

Conclusion. The possibility of minimally-invasive fragmentation of stones in the pancreatic duct by laser lithotripsy has been proved.

Keywords: *calculus; pancreas; lithotripsy; virsungolithiasis; fragmentation*

For citation: Nevmerzhitkiy N.V., Rogal M.L., Yartsev P.A., Teterin Yu.S., Sen'kovskiy E.D., Levkina E.V., Kochetkov D.O. Laser lithotripsy for pancreatic duct stones. *Annaly khirurgicheskoy gepatologii = Annals of HPB surgery*. 2024; 29 (1): 90–99. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.2024-1-90-99> (In Russian)

The study was performed within the framework of the Unified Industry R&D Thematic Plan (EOTP)-YaM-117 project. JSC Science and Innovations of Rosatom State Corporation is the customer and the right holder of the experimental part, N.V. Sklifosovsky Research Institute of Emergency Care is the right holder of the medical part.

The authors declare no conflict of interest.

● Введение

В настоящее время растет частота заболеваний, обусловленных образованием кристаллических структур (конкрементов) в организме: в желчном пузыре и желчных протоках, мочевыводящих путях, протоке поджелудочной железы (ППЖ). Одним из таких заболеваний является хронический панкреатит (ХП), распространенность которого в России достигает 50 на 100 тыс. населения. За последнее десятилетие отмечен интенсивный – более чем в 4 раза – рост заболеваемости ХП лиц трудоспособного возраста и подростков, что подчеркивает социальную значимость проблемы. Уровень инвалидизации достигает 25%, а летальность в течение 10 лет заболевания составляет 20% [1–3]. Лечение таких больных представляет серьезную проблему, которую в основном решают путем оперативного вмешательства, сопровождающегося значительной травматизацией и длительным реабилитационным периодом.

Перспективным направлением оказания помощи при ХП является разработка эндоскопических мини-инвазивных методов литотрипсии и внедрение их в клиническую практику. В настоящее время наиболее эффективными методами, позволяющими разрушать конкременты до мелкодисперсного состояния, считают электрогидравлическую [4, 5], лазерную [6, 7] и ударно-волновую литотрипсию [8]. Принцип разрушения конкрементов во всех перечисленных методах сводится к генерации на поверхности конкремента ударно-волновых микроимпульсов различной физической природы. Лазерная литотрипсия выгодно отличается от других методов. Энергию лазера можно регулировать, что позволяет разрушать конкременты практически

любой прочности. Рабочий инструмент – лазерное оптоволокно – тонкое (0,2–0,5 мм) и гибкое, что позволяет доставлять его к самым отдаленным анатомическим структурам. Кроме того, рассеянный лазерный свет малотравматичен.

В работе представлен разработанный авторами опытный полнофункциональный комплекс с лазерной энергетической установкой для дробления конкрементов в ППЖ лазерным методом. Приведены результаты ряда экспериментов по дроблению конкрементов и их имитаторов в натурном макете поджелудочной железы (ПЖ) с видеорегистрацией, измерением температуры и давления в зоне расположения конкремента. Отображены основы медицинской технологии и результаты одного из пробных вмешательств – лазерной литотрипсии в ППЖ у пациента с вирсунголитиазом.

● Материал и методы

При контактной лазерной литотрипсии механизм разрушения конкрементов основан на воздействии ударных волн и кавитации. По существующим представлениям первое воздействие на конкремент происходит вследствие ударной волны, возникающей под действием плазмы, формирующейся в момент выхода импульса из торца световода. Второе и последующие воздействия обусловлены ударной волной вследствие разрыва кавитационных пузырьков, образующихся в жидкой среде под действием лазера. Эффективность этого метода литотрипсии варьирует в пределах 87,5–95% [7]. Для реализации метода в лабораторных условиях разработан опытный полнофункциональный комплекс для дробления конкрементов.

Опытный полнофункциональный комплекс для дробления конкрементов (рис. 1) составлен из следующих устройств и систем:

- оптоволоконный лазерный литотриптор с энергией до 150 мДж, длительностью импульса 1 мкс, частотой до 20 Гц, длиной волны излучения 532 нм;

- эндоскопическая система в составе видеодуоденоскопа, катетера (наружный диаметр 3,5 мм) с соответствующими цифровыми блоками управления и монитором;

- система цифровой микроскопической видеорегистрации, состоящая из видеокамеры, оптического телескопа от микроскопа, диодной подсветки, персонального компьютера;

- система измерения давления и температуры в операционной зоне, состоящая из датчика давления типа PS01, откалиброванного на минимальный предел измерения 0,01 атм, термопары с погрешностью измерения 0,05 °С, усилителей электрических сигналов и двух осциллографов;

- система охлаждения операционного поля, состоящая из медицинской капельницы, шприца, силиконовой трубки, зажима.

Комплекс был снабжен натурным макетом желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), изготовленным из силикона, и макетом ПЖ, изготовленным из студня водного раствора желатина с пределом прочности на сжатие 0,07 МПа (рис. 2). В опытах также использовали свиную

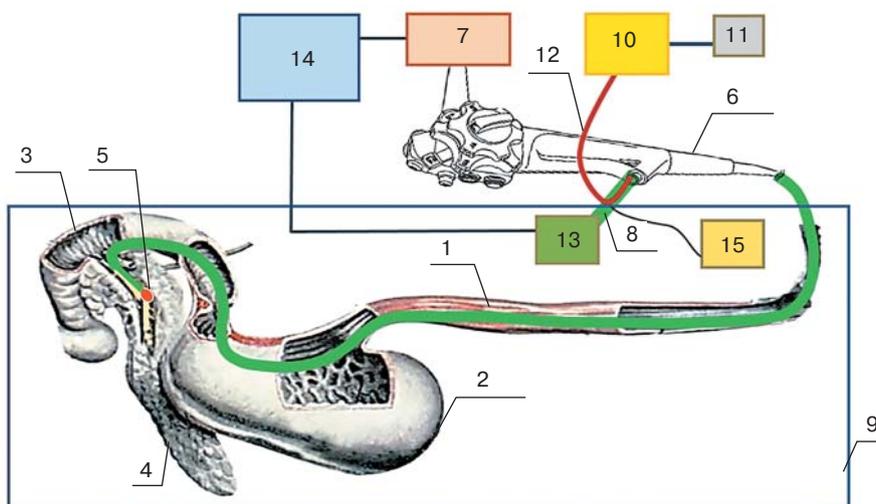


Рис. 1. Принципиальная схема полнофункционального комплекса для дробления конкрементов. 1 – пищевод; 2 – желудок; 3 – ДПК; 4 – ПЖ; 5 – конкремент; 6 – видеодуоденоскоп; 7 – видеопроцессор дуоденоскопа; 8 – катетер; 9 – операционный стол; 10 – лазер для литотрипсии; 11 – педаль включения лазера; 12 – оптоволоконно; 13 – блок управления; 14 – монитор; 15 – система охлаждения операционного поля.

Fig. 1. Schematic diagram of fully functional hardware complex designed for fragmentation of stones. 1 – esophagus; 2 – stomach; 3 – duodenum; 4 – pancreas; 5 – stone; 6 – video duodenoscope; 7 – video processor of duodenoscope; 8 – catheter; 9 – operating table; 10 – lithotripsy laser; 11 – laser pedal; 12 – fiber optics; 13 – control unit; 14 – display; 15 – surgical field cooling system.

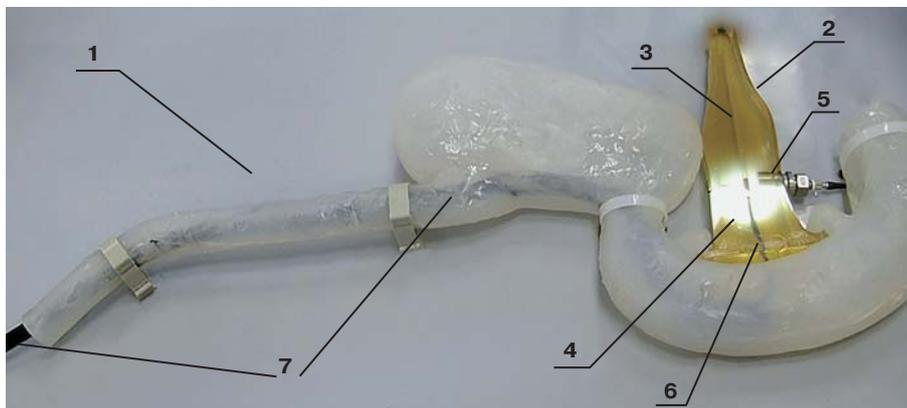


Рис. 2. Макет ЖКТ из студня. 1 – макет ЖКТ; 2 – макет ПЖ; 3 – проток макета ПЖ; 4 – конкремент (или имитатор); 5 – датчик давления; 6 – катетер; 7 – видеодуоденоскоп.

Fig. 2. Artificial gastrointestinal tract made of jelly. 1 – gastrointestinal tract mockup; 2 – pancreas mockup; 3 – pancreatic duct mockup; 4 – stone (or its imitator); 5 – pressure sensor; 6 – catheter; 7 – video duodenoscope.

ПЖ. Студень водного раствора желатина является оригинальным материалом для проведения подобного рода исследований: из него можно отлить по форме практически любой мягкой орган человека; он оптически прозрачен, что позволяет проводить видеорегистрацию процесса разрушения конкремента. Изменяя концентрацию желатина в воде, можно получить прочность студня, равную (больше или меньше) прочности мягких тканей человека [9]. Прочность мягких тканей человека составляет 0,1–0,5 МПа [10]. Температура плавления студня желатина составляет порядка 42 °С. Прочность макета ПЖ из студня, при которой макет разрушается в представленных экспериментах, была меньше прочности ткани натурной ПЖ. В макете ПЖ из студня диаметр канала, в который устанавливали конкремент, составлял 3–5 мм.

В комплексе лазерное оптоволокно подавали к конкременту по операционному каналу катетера, установленного в видеодуоденоскоп, через натурный макет ЖКТ.

Использованные конкременты и их имитаторы.

Для исследований использовали конкременты из желчного пузыря и ПЖ. Детально исследованы физико-механические характеристики конкрементов из желчного пузыря. В частности, физическая плотность этих конкрементов составила 0,95–1,03 г/см³, прочность при статическом и динамическом сжатии – 0,9–1,2 МПа. Определенная физическая плотность конкрементов из ПЖ составляла 1,7–1,8 г/см³, их оценочная прочность при сжатии – порядка 2,5 МПа.

В связи с недостаточным для исследований количеством натуральных конкрементов (38 билиарных и 9 – из ПЖ) использовали их имитаторы из газобетона [11, 12]. Определенная прочность газобетона на сжатие составила 1,2 МПа. В качестве имитаторов конкрементов из ПЖ использовали образцы из керамического кирпича прочностью 3,2 МПа [13] и образцы из гипса VegoStone, близкие по прочности. Конкременты и их имитаторы в ряде наблюдений обрабатывали до цилиндрической формы. Следует отметить, что имитаторы из газобетона и керамического кирпича имеют воздушные поры, что моделирует слоистую структуру реальных конкрементов. Имитатор из гипса VegoStone таких пор не имеет, поэтому возникающие в гипсе при литотрипсии ударно-волновые процессы не в полной мере соответствуют таковым в натуральных конкрементах, и разрушается он неэффективно, хотя имеет прочность, близкую к прочности керамического кирпича.

Техника лабораторных экспериментов. Макет ПЖ из студня изготавливали методом заливки водного раствора желатина в специальные раз-

емные матрицы и последующего охлаждения раствора в холодильнике. При этом датчик давления также заливали раствором желатина. В канал макета или в ППЖ свиньи устанавливали предварительно промазанный вазелином конкремент или его имитатор. Макет ПЖ крепили специальным образом к макету двенадцатиперстной кишки (ДПК). В ПЖ устанавливали термодуоденоскоп вблизи конкремента.

Лазерное оптоволокно устанавливали в катетер так, чтобы его дистальный сегмент примерно на 1 мм выступал за свободный торец катетера. Катетер устанавливали в видеодуоденоскоп. Включали аппаратуру комплекса. Видеодуоденоскоп через ЖКТ подавали в макет ДПК до канала входа в проток макета ПЖ. Затем подавали катетер на расстояние примерно 5–7 мм от конкремента. После этого подавали оптоволокно так, чтобы его торец упирался в центр конкремента. Вся процедура подачи видеодуоденоскопа, катетера, оптоволоконной системы проводили под визуальным контролем по монитору комплекса, продолжительность ее составила порядка 5 мин. Затем в канал ПЖ через катетер подавали воду или физиологический раствор. Включали лазерную установку, и оператор лазерными импульсами дробил конкремент, постоянно двигая оптоволокно и (или) катетер к конкременту, увеличивая или уменьшая скорость подачи жидкости. Также при литотрипсии проводили регистрацию давления и температуры в зоне конкремента. В некоторых опытах проводили рентгеноскопию ПЖ до и после дробления конкремента лабораторной установкой с энергией до 60 кэВ.

Известно, что под действием лазера в водной среде перед конкрементом возникают гидроудары, которые, собственно, и разрушают конкремент. Эти гидроудары могут разрушить не только конкремент, но и узкие протоки. Поэтому в работе уделяли большое внимание выбору оптимальных режимов нагрузки на конкременты: энергии в лазерном импульсе, частоте импульсов, времени их циклического воздействия, скорости промывки канала жидкостью и т.д.

Медицинская процедура. Пациент 63 лет был госпитализирован жалобами на боль в верхних отделах живота, тошноту. Ранее многократно проходил курсы лечения в различных стационарах по поводу острого панкреатита. При УЗИ и КТ органов брюшной полости диагностирован хронический калькулезный панкреатит. Выполнена эндоскопическая ретроградная панкреатикография, папиллосфинктеротомия, транспапиллярная панкреатикоскопия, лазерная литотрипсия и литэкстракция, стентирование ППЖ.

● Результаты

Лабораторные эксперименты. С помощью комплекса проведено >150 экспериментов по дроблению конкрементов ПЖ, желчного пузыря и их имитаторов. На рис. 3 показаны фрагменты процесса разрушения конкремента в протоке свиной ПЖ, полученные через катетер. Видно, что разрушение конкремента происходит на малые (0,2–0,5 мм) и на крупные (2–3 мм) фрагменты. Считаем, что крупные фрагменты образуются при столкновении волн разрежения, что вызывает в области столкновения большие

растягивающие напряжения [14]. Эти волны образуются от ударной волны, возникающей под действием лазерной плазмы. В ряде наблюдений крупные фрагменты дробили дополнительно лазерными импульсами. На рис. 4 показано фото рассеченной свиной ПЖ с фрагментами конкрементов после литотрипсии. На рис. 5 отображены фрагменты разрушенных конкрементов и их имитаторов, на рис. 6 – характерные зависимости давления и температуры от времени в макете ПЖ из студня в области расположения конкремента.

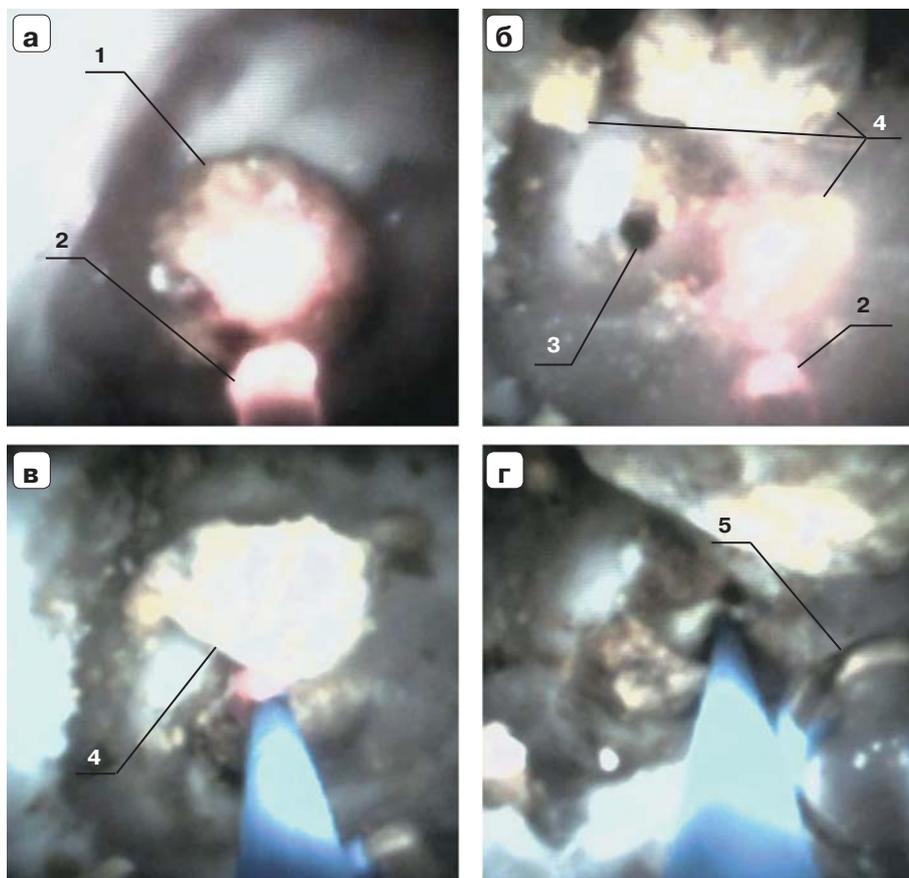


Рис. 3. Эндофото. Разрушение конкремента в протоке свиной ПЖ. 1 – желчный конкремент; 2 – оптоволоконно; 3 – проток 3–4 мм свиной ПЖ; 4 – фрагменты разрушенного конкремента; 5 – пузырьки воздуха.

Fig. 3. Endoscopic image. Fragmentation of a stone in the duct of porcine pancreas. 1 – gallstone; 2 – fiber optic; 3 – 3–4 mm duct of porcine pancreas; 4 – fragments of the stone; 5 – air bubbles.

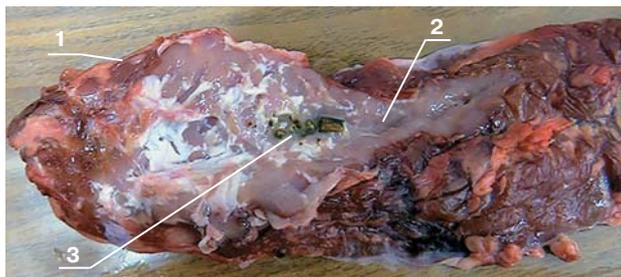


Рис. 4. ПЖ свиной после эксперимента. 1 – рассеченная железа; 2 – ППЖ; 3 – фрагменты разрушенного конкремента.

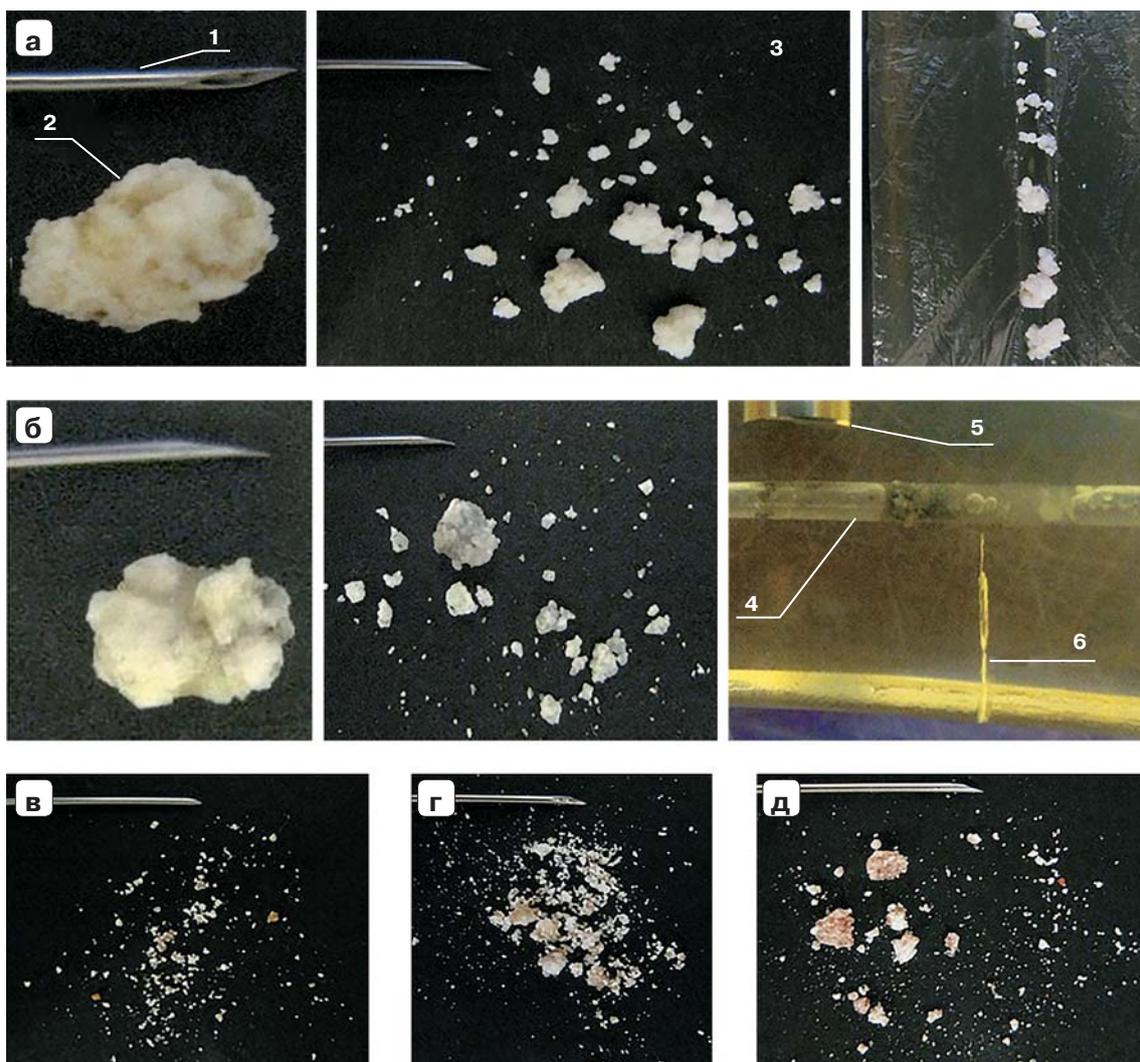


Рис. 5. Разрушенный конкремент ПЖ начальным размером 3,5–5 мм и высотой 7–9 мм: **а** – опыт № 63; **б** – опыт № 56; **в** – опыт № 41; **г** – опыт № 42; **д** – опыт № 47. 1 – медицинская игла диаметром 0,92 мм; 2 – конкремент; 3 – фрагменты разрушенного конкремента; 4 – канал макета ПЖ из студня диаметром 3 мм; 5 – датчик давления; 6 – термопара. Время разрушения конкремента – до 240 с.

Fig. 5. Fragmented pancreatic duct stone with initial size of 3.5–5 mm and height of 7–9 mm: **a** – experiment No. 63; **б** – experiment No. 56; **в** – experiment No. 41; **г** – experiment No. 42; **д** – experiment No. 47. 1 – \varnothing 0.92 mm needle; 2 – stone; 3 – fragments of the stone; 4 – duct of the jelly artificial porcine pancreas of 3 mm diameter; 5 – pressure sensor; 6 – thermocouple. The time of stone fragmentation – up to 240 s.

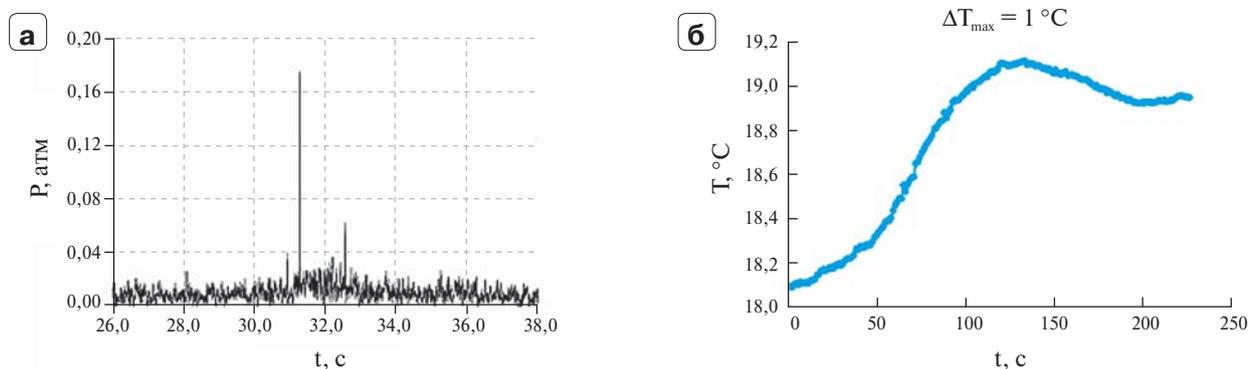


Рис. 6. Диаграммы. Характерные зависимости давления и температуры операционного поля от времени разрушения конкремента: **а** – давление; **б** – температура.

Fig. 6. Diagrams. Specific correlations between pressure and temperature of the operating field and time of stone fragmentation: **a** – pressure; **б** – temperature.

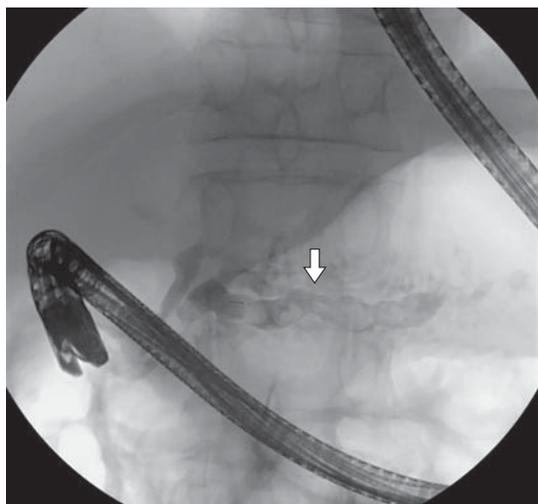


Рис. 7. Панкреатикограмма. Конкремент в ППЖ (указан стрелкой).

Fig. 7. Pancreatogram. Stones in pancreatic duct (arrow).

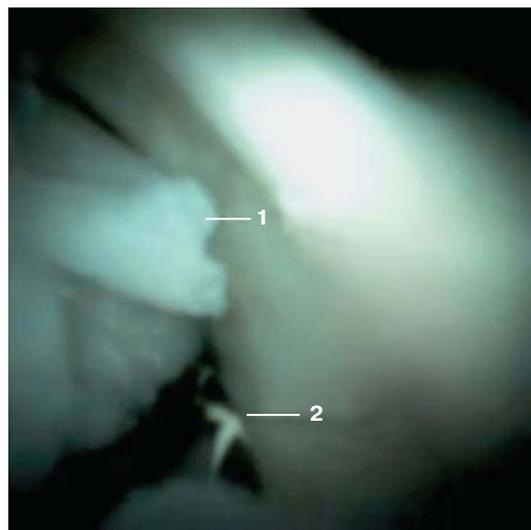


Рис. 8. Эндофото. Этап панкреатикоскопии. 1 – конкремент; 2 – струна-проводник.

Fig. 8. Endoscopic image. Pancreatoscopy stage. 1 – stone; 2 – core wire.

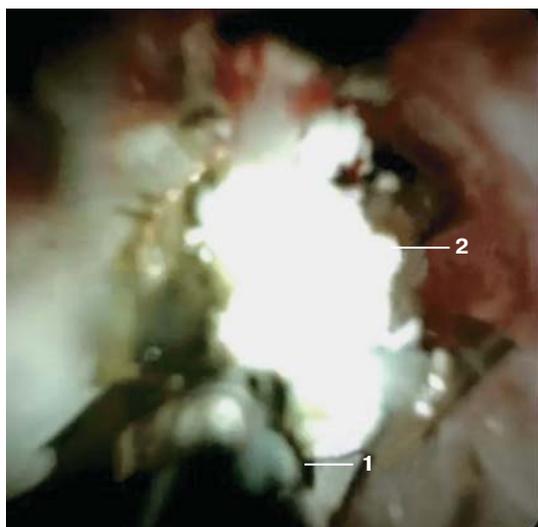


Рис. 9. Эндофото. Этап панкреатикоскопии и литотрипсии. 1 – оптоволоконно; 2 – конкремент.

Fig. 9. Endoscopic image. Pancreatoscopy and lithotripsy stage. 1 – fiber optics; 2 – stone.

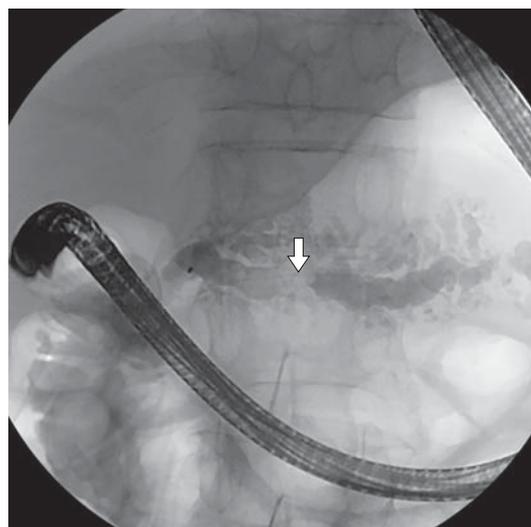


Рис. 10. Панкреатикограмма. ППЖ после литотрипсии и литэкстракции. В средних отделах протока виден дефект наполнения за счет пузырьков воздуха (указан стрелкой).

Fig. 10. Pancreatogram. Pancreatic duct after lithotripsy and lithoextraction. Air bubbles are indicative for a filling defect in the middle duct (arrow).

Результаты одной из пробных операций по дроблению конкрементов в ППЖ. На рис. 7 представлена панкреатикограмма ППЖ пациента. Проток расширен до 1,1–1,2 см. Тень ППЖ неомогенная в области головки и тела за счет нескольких дефектов наполнения овальной и неправильной формы до 17 мм, с четкими ровными контурами. Пациенту выполнена вирсунготомия до 12 мм и баллонная дилатация устья ППЖ. Выполнена панкреатикоскопия, в ППЖ и притоках 7–8 конкрементов 5–10 мм (рис. 8).

По каналу холангиоскопа в ППЖ проведен оптоволоконный зонд (рис. 9), проведена литотрипсия описанным способом. После сеанса литотрипсии в ППЖ заведена эндоскопическая корзинка, выполнена литэкстракция. При контрольном контрастировании конкременты не обнаружены, выявлено небольшое количество пузырьков газа в средних отделах ППЖ (рис. 10). В целях профилактики панкреатита выполнено панкреатодуоденальное стентирование. Под контролем рентгеноскопии по струне-проводнику

в ППЖ в область тела заведен пластиковый стент 8 см 7 Fr. Отмечено поступление панкреатического сока по стенту. В послеоперационном периоде проводили инфузионную и антибактериальную терапию, обезболивание. На фоне проводимого комплексного лечения отмечена положительная динамика. На 12-е сутки в связи с улучшением и отсутствием показаний для дальнейшего нахождения в условиях хирургического стационара пациент был выписан под амбулаторное наблюдение хирурга, терапевта, эндокринолога по месту проживания.

● Обсуждение

Результаты лабораторных исследований позволили заключить, что разработанный полнофункциональный комплекс с энергетической лазерной установкой (см. рис. 1) позволяет разрушать конкременты в достаточно тонких каналах организма человека. С использованием комплекса эффективное и безопасное дробление конкрементов в макете ПЖ на фрагменты 0,1–2 мм получено в присутствии проточной жидкости перед конкрементом при длительности лазерных импульсов 1 мкс, частоте 5–15 Гц и энергии лазерной установки 120 мДж. При указанных режимах нагрузки максимальное импульсное давление в зоне конкремента достигало 0,18 атм, повышение температуры – 1–3 °С, при этом ожога и разрушения свиной ПЖ и макета ПЖ из студня не наблюдали (см. рис. 4). Характерное время разрушения конкрементов из ПЖ 4 × 7 мм на фрагменты 0,1–2 мм составило порядка 3 мин. Получение меньших фрагментов требует увеличения времени литотрипсии. Желчные конкременты и их имитаторы из газобетона подвергаются дроблению более эффективно, чем конкременты из ПЖ и их имитаторы из керамического кирпича и гипса BegoStone. Мини-инвазивный процесс разрушения конкремента в ПЖ требует знаний прочностных характеристик конкремента для выбора режимов нагрузки и высокого профессионализма эндоскописта. Разработанный комплекс может быть использован в качестве тренажера для медицинского персонала, а его отдельные приборы – для проведения доклинических и клинических испытаний технологии разрушения конкрементов в ППЖ.

Проведенные пробные медицинские операции – лазерная литотрипсия в ППЖ у пациентов с вируснолитиазом – показали эффективность и безопасность этой технологии. Результаты исследований подтверждают возможность применения лазерной литотрипсии для лечения пациентов с вируснолитиазом мини-инвазивным внутрисветовым способом.

● Заключение

Разработана и отработана в лабораторных и медицинских условиях мини-инвазивная лазерная технология для дробления конкрементов в протоке поджелудочной железы. Первый опыт применения лазерной литотрипсии при вируснолитиазе демонстрирует высокую эффективность технологии и возможности ее применения в рутинной практике скоромощного стационара.

Благодарность

Авторы выражают благодарность директору ИФВ ФГУП “РФЯЦ-ВНИИЭФ” С.В. Ерунову, директору НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского С.С. Петрикову, академику РАН В.П. Смирнову за поддержку работы, а также сотрудникам ИФВ В.А. Вуколову, Е.В. Бодрову, М.А. Карпову, Е.А. Сотскову, И.Р. Фарину, Н.В. Васляеву за помощь в проведении экспериментов, сотрудникам НИИ СП им. Н.В. Склифосовского С.С. Петрикову, М.Х. Гурциеву, Р.Ш. Байрамову, Л.Л. Генердукаеву за помощь в подготовке и проведении операций.

Acknowledgements

The authors express gratitude to the director of IPE (FSUE RFNC-VNIIEF) S.V. Erunov, the Head of N.V. Sklifosovskiy Emergency Medicine Research Institute S.S. Petrikov, the Academician of RAS V.P. Smirnov for support of the study, as well as to the staff of IPE V.A. Vukolov, E.V. Bodrov, M.A. Karpov, E.A. Sotskov, I.R. Farin, N.V. Vaslyayev for assistance in conducting experiments, to the staff SBHI “N.V. Sklifosovskiy EM Research Institute” S.S. Petrikov, M.Kh. Gurtsiev, R.Sh. Bayramov, L.L. Generdukaev for help in preparing and performing surgeries.

Участие авторов

Невмержицкий Н.В. – концепция и дизайн исследования, ответственность за целостность всех частей статьи.

Рогаль М.Л. – написание текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Ярцев П.А. – сбор и обработка материала, написание текста.

Тетерин Ю.С. – сбор и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста.

Сеньковский Е.Д. – сбор и обработка материала.

Левкина Е.В. – статистическая обработка данных, редактирование статьи.

Кочетков Д.О. – сбор и обработка материала.

Authors contribution

Nevmerzhitskiy N.V. – concept and design of the study, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Rogal M.L. – writing text, approving the final version of the article.

Yartsev P.A. – collecting and processing of material, writing text.

Teterin Y.S. — collection and processing of material, statistical analysis, writing text.

Sen'kovskiy E.D. — collecting and processing of material.

Levkina E.V. — statistical analysis, editing.

Kochetkov D.O. — collecting and processing of material.

● Список литературы

1. Маев И.В., Кучерявый Ю.А. Болезни поджелудочной железы. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. 736 с. ISBN 9785970410028.
2. Желчные камни. Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: в 86 т. (82 т. и 4 доп.). СПб., 1890–1907.
3. Бешлиев Д.А. Опасности, ошибки, осложнения дистанционной литотрипсии, их лечение и профилактика: дис. ... д-ра мед. наук. М., 2003. 356 с.
4. Патент RU 2707011 C1. Способ эндоскопического лечения вирсунголитиаза. Габриэль С.А., Дурлештер В.М., Гучетль А.Я., Дынько В.Ю., Тлехурай Р.М., Беспечный М.В., Макаренко А.В., Кашперский Р.В. Дата опубликования — 21.11.2019.
5. Bekkali N.L., Murray S., Johnson G.J., Bandula S., Amin Z., Chapman M.H., Pereira S.P., Webster G.J.M., Pancreatocopy-directed electrohydraulic lithotripsy for pancreatic ductal stones in painful chronic pancreatitis using SpyGlass. *Pancreas*. 2017; 46 (4): 528–530. PMID: 28196019. <https://doi.org/10.1097/MPA.0000000000000790>
6. Patent US2020/0054397 A1 OPTICAL INTEGRITY INC [US] of 20.02.2020. Method of reducing stone fragments to dust during laser lithotripsy. Brown J.D., Malphurs D. Pub. date — 20.02.2020.
7. Александров С.В. Возможности эндоскопической лазерной литотрипсии у пациентов с холангиолитиазом. *Новости хирургии*. 2013; 21 (2): 45–53.
8. Полезная модель RU 106094 A61B17/50. Устройство для удаления камней из внепеченочных желчных протоков. Сахабутдинов А.М. Дата опубликования — 10.07.2011.
9. Механические свойства биологических тканей. URL: http://www.studref.com/555458/meditsina/mechanicheskie_svoystva_tkaney_krovenosnyh_sosudov (дата обращения — 01.11.2020).
10. Близнецов М.В., Мешков Е.Е., Невмержицкий Н.В., Низовцев П.Н., Сотсков Е.А., Сеньковский Е.Д., Точилина Л.В. О возможности моделирования некоторых аспектов развития Рэлей-Тейлоровской неустойчивости в прочных средах. *Вопросы атомной науки и техники. Серия: Теория и прикладная физика*. 1999; 3: 54–57.
11. Durmus H.O., Ari E.C., Karabocce B., Seyidov M.H.Y. Investigation of temperature effects of a 635 nm low power solid-state diode laser on agar phantom using two different thermocouples. *Eur. Internat. J. Sci. Technol.* 2021; 9 (11): 37–49.
12. Технология производства газобетона. URL: <https://betonobeton.ru/tehnologiya-proizvodstva-gazobetona/> (дата обращения — 30.09.2019).
13. Национальный стандарт Российской Федерации. ГОСТ Р 57347-2016. Кирпич керамический. Технические условия. ОКС 91.100.25. Дата введения — 07.01.2017.
14. Прочность и ударные волны. Под ред. С.А. Новикова. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1996. 573 с. ISSN 0131-3983.

● References

1. Maev I.V., Kucheryaviy Yu.A. *Bolezni podzheludochnoi zhelezy* [Diseases of the pancreas]. Moscow: GEOTAR-Media, 2009. 736 p. ISBN 9785970410028 (In Russian)
2. Zhelchnie kamni. *Entsiklopedicheskiy slovar'* [Gallstones. Brockhaus and Efron Encyclopedic Dictionary]. In 86 volumes (82 basic volumes and 4 additional volumes). S-Peterburg, 1890–1907. (In Russian)
3. Beshliev D.A. *Opasnosti, oshibki, oslozhneniya distantsionnoi litotripsii, ikh lechenie i profilaktika* [Risks, errors, complications of extracorporeal shockwave lithotripsy, their treatment and prevention: dis. doct. med. sci.]. Moscow, 2003. 356 p. (In Russian)
4. Patent RU 2707011 C1. *Sposob endoskopicheskogo lecheniya virsungolitiazia* [Method of endoscopic treatment of virsungolithiasis]. Gabriel S.A., Durlshter V.M., Guchetl A.Ya., Dyn'ko V.Yu., Tlekhuray R.M., Bespechniy M.V., Makarenko A.V., Kashperskiy R.V. Pub. date — 21.11.2019. (In Russian)
5. Bekkali N.L., Murray S., Johnson G.J., Bandula S., Amin Z., Chapman M.H., Pereira S.P., Webster G.J.M., Pancreatocopy-directed electrohydraulic lithotripsy for pancreatic ductal stones in painful chronic pancreatitis using SpyGlass. *Pancreas*. 2017; 46 (4): 528–530. PMID: 28196019. <https://doi.org/10.1097/MPA.0000000000000790>
6. Patent US2020/0054397 A1 OPTICAL INTEGRITY INC [US] of 20.02.2020. Method of reducing stone fragments to dust during laser lithotripsy. Brown J.D., Malphurs D. Pub. date — 20.02.2020.
7. Alexandrov S.V. Possibilities of endoscopic laser lithotripsy of patients with cholangiolithiasis. *Novosti khirurgii*. 2013; 21 (2): 45–53. (In Russian)
8. Utility model 106094 A61B17/50. *Ustroystvo dlya udaleniya kamney iz vnepechenochnikh protokov* [A device for removing stones from the extrahepatic bile ducts]. Sakhabutdinov A.M. Pub. date — 10.07.2011. (In Russian)
9. *Mekhanicheskie svoystva biologicheskikh tkanej* [Mechanical properties of biological tissues]. URL: http://www.studref.com/555458/meditsina/mechanicheskie_svoystva_tkaney_krovenosnyh_sosudov (reference date — 01.11.2020) (In Russian)
10. Bliznetsov M.V., Meshkov E.E., Nevmerzhiitskiy N.V., Nizovtsev P.N., Sotskov E.A., Sen'kovskiy E.D., Tochilina L.V. On the possibility of modeling for some aspects of the Rayleigh–Taylor instability acceleration in solids. *Voprosy atomnoi nauki i tekhniki. Seriya: Teoriya i prikladnaya fizika*. 1999; 3: 54–57. (In Russian)
11. Durmus H.O., Ari E.C., Karabocce B., Seyidov M.H.Y. Investigation of temperature effects of a 635 nm low power solid-state diode laser on agar phantom using two different thermocouples. *Eur. Internat. J. Sci. Technol.* 2021; 9 (11): 37–49.
12. *Tekhnologiya proizvodstva gazobetona* [Autoclaved aerated concrete production technology]. URL: <https://betonobeton.ru/tehnologiya-proizvodstva-gazobetona/> (reference date — 30.09.2019). (In Russian)
13. *Natsionalniy standart Rossiyskoy Federatsii* [National Standard of the Russian Federation]. GOST R 57347-2016. *Kirpich keramicheskii* [Ceramic brick]. *Tekhnicheskie usloviya* [Technical conditions]. OKS 91.100.25. Addition date — 07.01.2017 (In Russian)
14. *Prochnost' i udarnie volny* [Strength and shock waves]. Ed. by S.A. Novikov. Sarov: RFNC-VNIIEF, 1996. 573 p. ISSN 0131-3983. (In Russian)

Сведения об авторах [Authors info]

Невмержицкий Николай Васильевич – доктор физ.-мат. наук, начальник лаборатории ФГУП “РФЯЦ-ВНИИЭФ”.
<https://orcid.org/0009-0002-0598-7927>. E-mail: nvnevmerzhitskiy@vniief.ru

Рогаль Михаил Леонидович – доктор мед. наук, заместитель директора по научной работе ГБУЗ “НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ”. <https://orcid.org/0000-0003-1051-7663>. E-mail: rogal1961@mail.ru

Ярцев Петр Андреевич – доктор мед. наук, заведующий отделением ГБУЗ “НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ”.
<https://orcid.org/0000-0003-1270-5414>. E-mail: sklif@zdrav.mos.ru

Тетерин Юрий Сергеевич – канд. мед. наук, заведующий отделением ГБУЗ “НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ”.
<https://orcid.org/0000-0003-2222-3152>. E-mail: urset@mail.ru

Сеньковский Евгений Дмитриевич – старший научный сотрудник ФГУП “РФЯЦ-ВНИИЭФ”. <https://orcid.org/0009-0004-2271-2970>. E-mail: postmaster@ifv.vniief.ru

Левкина Евгения Валентиновна – инженер-исследователь 1-й категории ФГУП “РФЯЦ-ВНИИЭФ”. <https://orcid.org/0009-0004-5354-1617>. E-mail: evlevkina@vniief.ru

Кочетков Дмитрий Олегович – инженер по испытаниям ФГУП “РФЯЦ-ВНИИЭФ”. <https://orcid.org/0009-0004-6198-5015>. E-mail: postmaster@ifv.vniief.ru

Для корреспонденции *: Рогаль Михаил Леонидович – 129090, Москва, Большая Сухаревская пл., д. 3, Российская Федерация. Тел.: +7-495-625-38-97. E-mail: rogal1961@mail.ru

Nikolay V. Nevmerzhitskiy – Doct. of Sci. (Phys.-Math.), Head of Laboratory, Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics. <https://orcid.org/0009-0002-0598-7927>. E-mail: nvnevmerzhitskiy@vniief.ru

Mikhail L. Rogal – Doct. of Sci. (Med.), Chief Technology Officer, Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of Health Department of Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1051-7663>. E-mail: rogal1961@mail.ru

Petr A. Yartsev – Doct. of Sci. (Med.), Head of Department, Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of Health Department of Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1270-5414>. E-mail: sklif@zdrav.mos.ru

Yuriy S. Teterin – Cand. of Sci. (Med.), Head of Department, Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of Health Department of Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-2222-3152>. E-mail: urset@mail.ru

Evgeniy D. Sen'kovskiy – Senior Researcher, Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics. <https://orcid.org/0009-0004-5354-1617>. E-mail: postmaster@ifv.vniief.ru

Evgeniya V. Levkina – Research Engineer (1 cat.), Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics. <https://orcid.org/0009-0004-5354-1617>. E-mail: evlevkina@vniief.ru

Dmitriy O. Kochetkov – Test Engineer, Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics. <https://orcid.org/0009-0004-6198-5015>. E-mail: postmaster@ifv.vniief.ru

For correspondence *: Mikhail L. Rogal – 3, Bolshaya Sukharevskaya str., 129090, Moscow, Russian Federation. Phone: +7-495-625-38-97. E-mail: rogal1961@mail.ru

Статья поступила в редакцию журнала 7.12.2023.
Received 7 december 2023.

Принята к публикации 23.01.2024.
Accepted for publication 23 January 2024.