



Оптимизация параметров лазерного излучения при хирургическом лечении больных с патологией аноректальной зоны

Н. К. Жижин, Д. А. Иванов, М. А. Иванов, Ю. Ю. Колбас, Е. В. Кузнецов, Н. А. Кузина, Е. А. Шибeko
АО «НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха», Москва
Федеральный медицинский центр Росимущества

В статье представлен метод оптимизации параметров лазерного излучения и описание разработанной компьютерной программы для больных с патологией аноректальной зоны, определены критерии выбора уровней лазерного воздействия. На основе практических результатов лечения больных показано, что использование разработанного метода позволило снизить уровень воздействия лазерного излучения у 58% пациентов. В то же время у 16% больных было увеличено время воздействия, что обеспечило однократность операции.

Ключевые слова: лазерное излучение, температура ткани, программное обеспечение, диодный лазер, геморрой, хирургия

Статья получена: 22.10.2021

Статья принята: 17.11.2021

Лазерные технологии активно внедряются в современную хирургию, чрезвычайно конкурентоспособными в области медицины в настоящее время являются полупроводниковые (диодные) лазеры. Благодаря многообразию конструктивных решений и широкому списку используемых в производстве материалов существует множество различных видов диодных лазеров, обладающих широким спектром возможных мощностей и длин волн (0,5–5 мкм). Отличительной особенностью диодных лазеров явля-

Optimization of Laser Radiation Parameters in the Surgical Treatment of Patients with Anorectal Pathology

N. K. Zhizhin, D. A. Ivanov, M. A. Ivanov, Y. Y. Kolbas, E. V. Kuznetsov, N. A. Kuzina, E. A. Shibeko
Research and Development Institute "Polyus" named after M. F. Stelmakh, Moscow Federal Medical Center of the Federal Property Management Agency, Moscow

The article presents a method for optimizing the parameters of laser radiation and a description of the developed computer program for patients with pathology of the anorectal area, as well as determines the criteria for choosing the levels of laser exposure. The practical results of the treatment of patients showed that the use of the developed method allowed reducing the level of exposure to laser radiation in 58% of patients. At the same time, 16 percent of patients had the exposure time increased, which resulted in carrying out a single surgery.

Keywords: laser radiation, tissue temperature, software, diode laser, hemorrhoids, surgery

The article was received: 22.10.2021

The article was accepted: 17.11.2021

Laser technologies are extensively introduced into modern surgery. Semiconductor (diode) lasers are currently extremely competitive in the field of medicine. Due to the variety of design solutions and a wide list of materials used in the production, there are many different types of diode lasers with a wide range of possible powers and wavelengths (0.5–5 microns). A distinctive feature of diode lasers is their high efficiency, miniaturization, low price, and significant life cycle (up to 50,000 hours). The diode lasers are most commonly used in surgery. However, due to the variety of output parameters and affordable price, diode lasers are currently one of the most common types of lasers in coloproctology.



ется высокий коэффициент полезного действия (КПД), миниатюрность, низкая цена и значительный рабочий ресурс (до 50 000 часов). Наиболее распространено применение диодных лазеров в хирургии, однако благодаря многообразию выходных параметров и доступной цене диодные лазеры в настоящее время являются одним из самых распространенных типов лазеров и в колопроктологии.

В последнее десятилетие активно используется в хирургической коррекции геморроя лазерное излучение. Высокоинтенсивное лазерное излучение успешно используется в абдоминальной хирургии уже более 40 лет [1-4]. В тематической литературе можно встретить сообщения об использовании для коагуляции геморроидальных узлов, кавернозных и сосудистых образований аноректальной области различных параметров лазерного излучения [2, 5]. Разрозненная информация по применению лазеров в лечении анальных трещин, свищей прямой кишки, кондилом, полипов прямой кишки не позволяет определить алгоритм хирургического лечения. Выполнение различных лазерных хирургических тактик при патологии аноректальной зоны разработано, однако четких методических указаний по режиму работы, мощности излучения, времени воздействия не представлено. Вообще не учитываются антропометрические данные пациентов.

Поэтому целью работы стала разработка программы для оптимизации использования лазерного излучения в лечении заболеваний аноректальной зоны. Для достижения цели научному коллективу были поставлены следующие задачи исследования:

- Создать компьютерный модуль с учетом антропометрических данных, для оптимизации мощности лазерного излучения и времени его воздействия
- Персонализировать методологию использования лазерного лечения при заболеваниях аноректальной зоны
- Использовать геморроидальную болезнь как биологическую модель для написания информационной компьютерной программы
- Создать компьютерную базу данных для минимизирования рисков при использовании лазеров в лечении заболеваний аноректальной зоны

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для создания компьютерной программы были использованы данные исследований по выборке

In the last decade, laser radiation has been actively used in the surgical correction of hemorrhoids. High-intensity laser radiation has been successfully used in abdominal surgery for more than 40 years [1-4]. In the issue-related literature, one can find reports on the use of various laser radiation parameters for coagulation of hemorrhoidal tumors, cavernous and vascular formations of the anorectal area. [2, 5] Miscellaneous information about the use of lasers in the treatment of anal fissures, rectal fistulas, condylomata, rectal polyps does not allow determining the algorithm of surgical treatment. The implementation of various laser surgical approaches in the pathology of the anorectal area has been developed, but there are no clear guidelines as to the mode of operation, beam power, and exposure time. The anthropometric data of patients are not taken into account at all.

Therefore, the aim of the work was to develop a program to optimize the use of laser radiation in the treatment of diseases of the anorectal area. To achieve the goal, the research team was assigned the following research objectives:

- A computer module should be created, taking into account anthropometric data to optimize the beam power and the time of its exposure;
- The procedure for using laser treatment for diseases of the anorectal area should be personalized.
- Hemorrhoidal disease should be used as a biological model for writing an information computer program;
- A computer database should be created to minimize the risks of using lasers in the treatment of anorectal diseases

MATERIALS AND TECHNIQUES

Research data on a sample of 362 patients treated with a diode laser within 3 years (2018-2020) were used to create a computer program. All patients had pathologies of the anorectal area. Surgical treatment of all patients was performed using a diode laser. The creation of the program involved the use of databases that contained anthropometric data of patients – height and weight, technical parameters of laser radiation – wavelength, beam power, and exposure time.

When utilizing the device in test run mode, a laser tool proves to be convenient for application: the device is easy to use (PLUG & PLAY technology is used, which simplifies the detection of a hardware component in the system without the need for user intervention), compact, convenient for transportation and use in various medical facilities during the working



из 362 пациента, пролеченных с использованием диодного лазера в течение 3 лет (за 2018–2020 годы). Все больных имели патологии аноректальной зоны. Хирургическое лечение всех пациентов выполняли с помощью диодного лазера. Для создания программы использовали базы данных, которые содержали антропометрические данные пациентов – рост и вес, технические параметры лазерного излучения – длина волны, мощность излучения и время воздействия.

При работе с прибором в тестовом режиме было отмечено удобство использования лазерного инструмента: аппарат прост в использовании (используется технология PLUG & PLAY, что упрощает обнаружение аппаратного компонента в системе без необходимости вмешательства пользователя), компактен, удобен при транспортировке и использовании в различных медицинских помещениях в течение рабочего дня. Интерфейс, размещенный на сенсорном экране, использует русский язык, позволяет оперативно использовать несколько рабочих режимов при выполнении оперативных вмешательств, иногда даже и у одного пациента. Для всех оперативных вмешательств использовались торцевые и радиальные световоды, длина волны излучения – 1,46 мкм.

В качестве биологической модели при написании программы была выбрана геморроидальная болезнь. В лечении геморроя были использованы торцевые световоды, при этом наблюдается эффект «белой денатурации» тканей. Иногда раневой дефект дополнительно прошивался нитью Викрил 3-0 на круглой игле с целью дополнительного гемостаза и лифтинга слизистой. При использовании радиальных световодов световод вводился чрезкожно в подслизистый слой, и коагуляция геморроидальных узлов проводилась веерно. Работа осуществлялась на мощности лазерного излучения не более 8 Вт, при этом эффект «белой денатурации» тканей не наблюдался. При пролапсе слизистой выполнялся ее лифтинг нитью Викрил 3-0 на круглой игле. В послеоперационном периоде болевой синдром был минимален и исчезал на 2-е сутки после операции, а средний срок нетрудоспособности составил 10–12 дней. Анализ болевого синдрома проводили по цифровой ретинговой шкале (NRS).

Болевой синдром составил 3–4 балла при использовании торцевых световодов, 1–2 балла при использовании радиальных световодов, к 3-м суткам болевой синдром отсутствовал. Всем больным выполнялась эпидуральная анестезия (362 случая). Данный вид анестезии предполагает

day. The interface placed on the touch screen uses the Russian language, as well as makes it possible to quickly use several operating modes when performing surgical interventions, sometimes even in one patient. Straight and radial light guides were used for all surgical interventions, with the 1.46-micron radiation wavelength applied.

Hemorrhoidal disease was chosen as a biological model when writing the program. Straight light guides were used to treat hemorrhoids that resulted in the response of “white denaturation” of tissues. Sometimes the wounds were additionally stitched with a 3-0 Vicryl suture by means of a round needle for the purpose of additional hemostasis and mucosa lifting. When using radial light guides, the light guide was inserted percutaneously into the submucosal layer, and coagulation of hemorrhoids was carried out fanwise. The operation was carried out using a laser beam power of up to 8 W, with no response of “white denaturation” of tissues observed. Mucosal prolapse was lifted with a 3-0 Vicryl suture by means of a round needle. During the postoperative period, the pain syndrome was minimal and subsided on the 2nd day after the surgery, and the average period of disability was 10–12 days. The analysis of the pain syndrome was carried out using the Numeric Pain Rating Scale (NPRS).

The pain syndrome was 3–4 points when using straight light guides, 1–2 points when using radial light guides, by the 3rd day no pain syndrome was observed. All patients underwent epidural anesthesia (362 cases). This type of anesthesia involves the introduction of an anesthetic in the immediate vicinity of the spinal cord. Therefore, they are united by the concept of “central anesthesia”. In order to prevent the development of arterial hypotension, patients are subjected to volemic (infusion) load with solutions of crystalloids or solutions of colloids if necessary. This leads to an increase in preload and, consequently, to an increase in venous return and normalization of cardiac output. Dynamic monitoring of blood pressure, pulse, respiratory rate, and pulse oximetry is carried out during the initial examination of the patient, during preparation and anesthesia, as well as during the postoperative period.

It is implicit that devices that can be used for such treatment have also been proposed previously. For example, similar equipment using mechanical compression, ultrasound diagnostics, and ultrasound coagulation is proposed by Jimin Zhang et al [6].

The main difference between the use of laser radiation and ultrasonic heating or non-monochromatic photocoagulation is that it is capable of providing

введение анестетика в непосредственной близости от спинного мозга, поэтому их объединяют понятием «центральная анестезия». С целью предупреждения развития артериальной гипотонии пациентам проводится волевическая (инфузионная) нагрузка растворами кристаллоидов, при необходимости растворами коллоидов. Это ведет к увеличению преднагрузки и таким образом – к увеличению венозного возврата и нормализации сердечного выброса. Динамический мониторинг артериального давления, пульса, частоты дыхания, пульсоксиметрии проводится при первичном осмотре пациента, во время подготовки и проведения анестезии, в послеоперационном периоде.

Разумеется, ранее также были предложены устройства, позволяющие проводить подобное лечение. Например, подобная установка, использующая механическую компрессию, УЗ-диагностику и УЗ-коагуляцию, предложена в работе Jimin Zhang et al [6].

Основным отличием использования лазерного излучения от ультразвукового нагрева или немонохроматической фотокоагуляции является возможность обеспечения селективного воздействия на ткани при правильном выборе длины волны излучения. Это означает, что использование лазерного излучения для решения задачи коагуляции крови в сосуде приводит к относительно малому разогреву окружающих тканей [3].

Для эффективной коагуляции крови излучение должно эффективно поглощаться гемоглобином, при этом поглощение излучения окружающими сосудными тканями должно быть меньше для обеспечения принципа селекции. Также для решения задачи лазерной коагуляции целесообразным является использование импульсно-периодического режима воздействия, который позволит повысить эффективность коагуляции крови и обеспечит безопасность окружающих тканей ввиду меньшей зоны нагрева.

Важно также отметить малоинвазивность и удобство способов доставки лазерного излучения в зону воздействия. Излучение лазера подается к месту воздействия в толще тканей по гибкому оптоволокну малого диаметра с использованием линз, а сам процесс коагуляции может быть осуществлен как эндовасально, так и черестканно [3, 5, 7-10].

Лазерное излучение имеет ряд иных преимуществ: зона термических повреждений стерильна и минимальна (не более 0,15 мм). Коагуляция крови и лимфы в просвете мелких сосудов диа-

a selective effect on tissues with the right choice of radiation wavelength. This means that the use of laser radiation to solve the problem of blood coagulation in a vessel results in relatively low heating of the surrounding tissues [3].

For efficient coagulation of blood, radiation should be absorbed by hemoglobin to good effect, while the absorption of radiation by the tissues surrounding the vessel should be less so that the principle of selection is in place. To solve the problem of laser coagulation, it is also advisable to use a pulse-periodic mode of exposure, which will increase the efficiency of blood coagulation and ensure the safety of surrounding tissues due to a smaller heating zone.

It is also important to note the minimally invasive and convenient ways of delivering laser radiation to the affected area. Laser radiation is delivered to the area of exposure in the tissue thickness via a flexible optical fiber of small diameter using lenses, and the coagulation process itself can be carried out using endovascular laser obliteration and through the tissue [3, 5, 7-10].

Laser radiation has a number of other advantages: the area of thermal damage is kept sterile and does not exceed 0.15 mm. Coagulation of blood and lymph in the lumen of small vessels with a diameter of 0.3-0.5 mm provides hemostasis and lymphosta-

Диодный медицинский лазер ACE 1410
ACE 1410 Diode Medical Laser



Радиальное оптическое волокно,
диаметр 800 мкм
Radial optical fiber,
diameter 800 microns

Торцевая линза
Straight lens

Рис. 1. Рабочая установка на диодном медицинском лазере
Fig. 1. Equipment on a diode medical laser



метром 0,3-0,5 мм обеспечивает гемо- и лимфостаз, что полностью исключает возможность кровотечения из раны и развития застойных отеков окружающих тканей [11, 12].

ОПИСАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ УСТАНОВКИ

В работе была использована лазерная установка (рис. 1) на базе диодного медицинского лазера ACT DUAL производства ООО «Юрикон-Группа» с выводом излучения через радиальное оптическое волокно с линзой [12].

Используется излучение длиной волны 1470 нм. Мощность и длительность воздействия варьируется в широких пределах: мощность до 16 Вт, длительность воздействия в одном импульсе до 1000 мс. Суммарное время воздействия может быть установлено любым, поскольку задается любое количество повторяющихся импульсов.

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

Разработанная программа оснащена интуитивно понятным интерфейсом (рис. 2). Для расчета персонализированной математической модели необходимо ввести несколько входных параметров (длину

ses, which completely eliminates bleeding from the wound and the development of congestive edema of surrounding tissues [11,12].

DESCRIPTION OF THE LASER EQUIPMENT

To perform the research, the laser equipment is used (Fig.1) based on the ACT DUAL diode medical laser manufactured by Yurikon-Group LLC with radiation output through a radial optical fiber with a lens [12].

Radiation with a wavelength of 1470 nm is used. The power and duration of exposure varies widely -

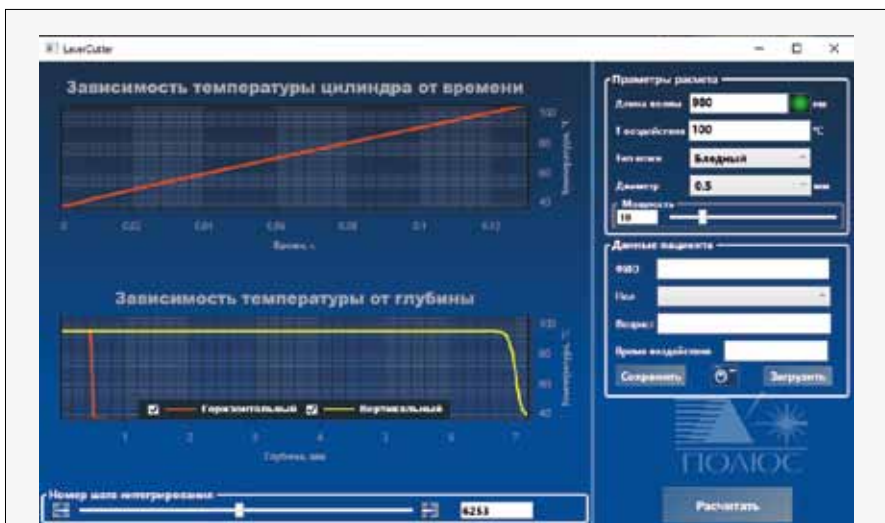


Рис. 2. Интерфейс программы
Fig. 2. Program interface

№	И	Ф	Возраст	Пол	Диагноз	Анастезия	ТипСветода	Длина	Плотн.	ТипКожы	Диаметр	Мощность	Время
35	Мужской	анальная трещина, геморрой		СМА	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	7, 10	2700			
43	Женский	геморрой, трещина		Презервация флоры	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	10	2700			
32	Женский	пояснич.		Презервация флоры	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	8	2400			
18	Женский	анальная трещина, пояснич.		СМА	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	7, 8	4200			
57	Мужской	пояснич.		Презервация флоры	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	8	2400			
34	Женский	пояснич. 2 ст.		Презервация флоры	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	8	4800			
23	Женский	пояснич. 2 ст.		инфракрасная анест.	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	8	4800			
49	Мужской	трохант, геморрой		Презервация флоры	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	10	2700			
30	Женский	анальная трещина 2 ст.		Презервация флоры	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	7	1800			
17	Женский	геморрой		Презервация флоры	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	10	1800			
37	Мужской	анальная трещина		Презервация флоры	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	7	900			
22	Мужской	геморрой		Презервация флоры	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	10	1800			
33	Женский	пояснич. (2 ст.)		Презервация флоры	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	8	4800			
30	Женский	анальная трещина		Презервация флоры	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	7	900			
15	Женский	геморрой		Презервация флоры	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	10	1800			
28	Женский	пояснич.		Презервация флоры	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	8	2400			
28	Женский	пояснич.		Презервация флоры	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	8	2400			
27	Женский	пояснич. (1 ст.)		Презервация флоры	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	8	7200			
34	Женский	анальная трещина		Презервация флоры	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	7	900			
34	Женский	пояснич. (2 ст.)		Презервация флоры	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	8	4800			
40	Мужской	анальная трещина, геморрой		Презервация флоры	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	7, 10	2700			
40	Женский	пояснич.		Презервация флоры	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	8	2400			
28	Женский	анальная трещина		Презервация флоры	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	7	900			
45	Женский	геморрой		Презервация флоры	лучев. рад.	1470-100	обычный свет	2	10	1800			

Рис. 3. Интерфейс базы данных программы
Fig. 3. Program database interface



волны, температуру воздействия, тип кожи пациента, диаметр лазерного пучка и мощность). Также необходимо ввести данные пациента, а именно: ФИО, пол и возраст. После расчетов интерфейс позволяет хирургу видеть, как будет изменяться температура ткани при воздействии лазера на биоткань в разные моменты времени и на разной глубине от поверхности и по сечению луча.

Рассчитанные параметры, а также данные пациента записываются в базу данных программы (рис. 3), использование которой позволяет собирать анонимную статистику с целью дальнейшего развития программы и методики.

Для расчета математической модели используется следующий алгоритм:

1. Рассчитывается изменение температуры рассматриваемого цилиндра под воздействием лазера в горизонтальном и вертикальном направлениях:

$$\Delta T = \frac{Q_i}{C \cdot m_i} \quad (1)$$

где C – теплоемкость биологической ткани, m_i – масса рассматриваемого цилиндра на шаге интегрирования, Q_i – количество передаваемого тепла, i – номер шага;

2. Рассчитывается количество передаваемого тепла между слоями вследствие диффузии:

$$Q_i = -\chi \cdot \frac{S \cdot (d_i - d_{i-1})}{d_i} dt, \quad (2)$$

где S – площадь сечения, d_i – диаметр сечения на шаге, χ – коэффициент теплопроводности, dt – время шага интегрирования;

Таблица 1. Зависимость глубины разреза от длины волны и цвета кожи

Table 1. The dependence of the incision depth on the wavelength and skin color

Длина волны лазера λ , мкм Laser wavelength λ , μm	Цвет кожи Skin color	Глубина проникновения L , мм Penetration depth L , mm
0.193 ArF	Бледный/ темный Pale/dark	0.004
0.308 XeCl		0.04
0.488 Ar		0.230
0.510 ЛПМ		0.230
0.532 Nd:YAG		0.610
1.064 Nd:YAG		11.5
0.808ДЛ		77.1
0.980ДЛ		6.6
1.53 ВОЛ		7.7
1.9 ВОЛ		2.1
2.09 Но		0.580
2.94 Er		0.005
10.6 CO2		0.05

Диагностика и компоненты

- Фотоприемники с усилителем, лавинные, балансные
- Изоляторы Фарадея 400-1250 нм, до 60 дБ, до 15 мм
- Селекторы импульсов на 250-2700 нм до 2 МГц
- Измерители длительности импульсов, SPIDER
- Электроника ФАПЧ для синхронизации
- Спектрометры 190-3450 нм



Фемтосекундные лазерные системы

- Параметрические генераторы 340-4200 нм
- Волоконные лазеры на 780, 1030-1064, 1560 нм
- Лазеры со средней мощностью до 50 Вт
- Оптический синтезатор частоты ("комб-генератор")
- Титан-сапфировые генераторы от 6 до 100 фс
- Системы с пиковой мощностью до 15 ТВт



3. Вычисления по п.п. 1 и 2 рекурсивно выполняют до тех пор, пока рассчитанная температура слоя с заданной глубиной (формула 3) не будет равна установленной:

$$(3) \quad T_i = T_i + \frac{Q_i}{C \cdot m_i}.$$

Необходимые для расчета константы, используемые программой (коэффициенты отражения, теплоемкость и теплопроводность биологической ткани), приведены в табл. 2.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Ниже представлены результаты использования разработанного алгоритма и программы. Всего было пролечено 362 пациента, распределение которых по полу, возрасту и диагнозу заболевания представлено на рис. 4–6.

Без использования расчетной программы алгоритм лечения предусматривал установку выходной мощности диодного лазера 10 Вт и варьирование времени воздействия в диапазоне 800–3200 мс в зависимости от диаметра обрабатываемой зоны как субъективный выбор хирурга. С одной стороны, это приводило к избыточному повреждению тканей, с другой – в некоторых случаях требовалась повторная обработка.

Использование расчетной программы устранило этот недостаток, в результате выбор параметров воздействующего лазерного излучения стал персонифицированным. Как видно из диаграммы на рис. 7, для 41,45% пациентов мощность лазерного излучения была снижена на 20%, а для 29,57% мощность потребовалось снизить даже на 30%.

Диаграмма на рис. 8 показывает, что почти для 16% пациентов пришлось существенно увеличить время воздействия вплоть до 12000 мс. Зато операция была завершена за 1 цикл без повторения воздействия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учет антропометрических параметров позволяет оптимизировать мощность излучения, что в даль-

Таблица 2. Коэффициенты отражения, теплоемкость и теплопроводность биологической ткани

Table 2. Physical parameters of biological tissue exposed to laser (reflection coefficients, heat capacity, and thermal conductivity)

Длина волны излучения лазера λ , мкм Laser wavelength λ , μm	Цвет кожи Skin color	Коэффициент отражения, $k_{\text{отр}}$ Reflection coefficient, $k_{\text{отр}}$	Теплоемкость, С Heat capacity, C	Коэффициент теплопроводности, χ Coefficient of thermal conductivity, χ
0.308 ХеСl	Бледный/ темный Pale/dark	0.1/0.05	3360	0.44
0.488 Аг		0.4/0.1	3360	0.44
0.510 ЛПМ		0.43/0.12	3360	0.44
0.578 ЛПМ		0.38/0.15	3360	0.44
0.532 Nd:YAG		0.36/0.13	3360	0.44
1.064 Nd:YAG		0.51/0.44	3360	0.44
0.808 ДЛ		0.65/0.4	3360	0.44
0.980 ДЛ		0.52/0.43	3360	0.44
1.53 ВОЛ		0.1/0.1	3360	0.44
1.9 ВОЛ		0.05/0.05	3360	0.44
2.09 Но		0.055/0.055	3360	0.44
2.94 Ер		0.053/0.053	3360	0.44
10.6 СО2		0.05/0.05	3360	0.44

power up to 16 W, duration of exposure in one pulse up to 1000 ms. The total exposure time can be set by anyone, since any number of repetitive pulses is set.

PROGRAM DESCRIPTION

The developed program is equipped with an intuitive interface (Fig. 2). To calculate a personalized mathematical model, several input parameters (wavelength, exposure temperature, patient's skin type, laser beam diameter, and power) should be entered. It is also necessary to enter the patient's data, namely: full name, gender, and age. After calculations are made, the interface allows the surgeon to see how the temperature of the tissue will change when the laser is exposed to the biological tissue at different times and different depths from the surface and along the beam section.

The calculated parameters and patient data are recorded in the program database (Fig. 3), which can be used to collect anonymous statistics for the purpose of further development of the program and procedure.

49,28% Мужчины
50,72% Женщины

Рис. 4. Распределение пациентов по полу
Fig. 4. Distribution of patients by gender

24,06% 20-30 лет
38,55% 30-40 лет
20,00% 40-50 лет
11,88% 50-60 лет
4,93% 60-70 лет
0,58% 70-80 лет

Рис. 5. Распределение пациентов по возрасту
Fig. 5. Distribution of patients by age

22,03% Геморрой | Hemorrhoids
22,03% Тромбоз | Thrombosis
20,00% Полип | Polyp
14,20% Анальная трещина | Anal fissure
7,54% Трещины | Fissures
6,67% Тромбоз, геморрой | Thrombosis, hemorrhoids
3,19% Свищ | Fistula
1,16% Криптит | Cryptitis
0,87% Гиперплазия | Hyperplasia
0,87% ЭКХ | Pilonidal cyst
0,58% Папиллы | Papillae
0,29% Кондилломы | Condylomata
0,29% Наружный тромбированный геморрой
External thrombosed hemorrhoids
0,29% Невус | Nevus

Рис. 6. Распределение пациентов по диагнозу заболевания
Fig. 6. Distribution of patients by disease diagnosis



Металлообработка. Сварка – Урал

международная выставка технологий,
оборудования, материалов для машиностроения,
металлообрабатывающей промышленности
и сварочного производства



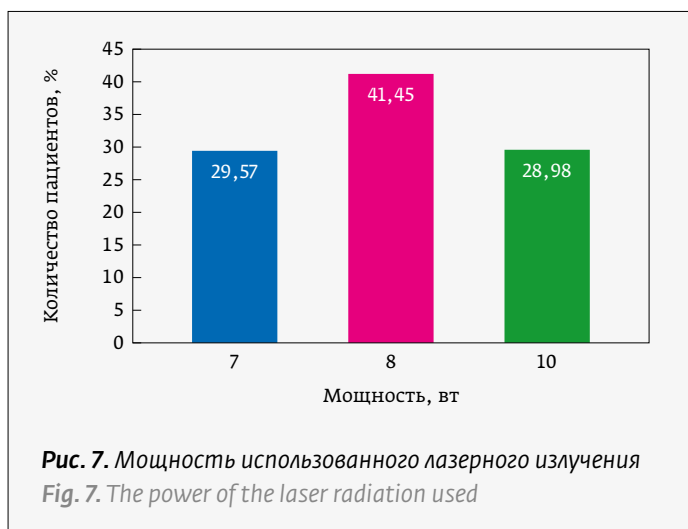
PRO
EXPO

15-18 марта 2022
Екатеринбург

крупнейший
специализированный
региональный проект в России

(342) 264-64-27
egorova@expoperm.ru
www.metal-ekb.expoperm.ru





нейшем улучшает морфометрические параметры раневого процесса, а также позволяет сократить сроки заживления.

Все эти данные учитывались при написании компьютерной программы, вводились следующие параметры: рост, вес больного, время воздействия в секундах, длина волны, мощность излучения в единицах ватт – все эти данные в дальнейшем обрабатывались, и с использованием методов математического моделирования персонализировалось лазерное воздействие.

The following algorithm is used to calculate the mathematical model:

1. The temperature variation of the cylinder in question that is under the influence of the laser in the horizontal and vertical directions should be calculated as follows:

$$\Delta T = \frac{Q_i}{C \cdot m_i}, \quad (1)$$

where C is the heat capacity of the biological tissue, m_i is the mass of the cylinder in question at the integration step, Q_i is the amount of heat transferred, i is the step number.

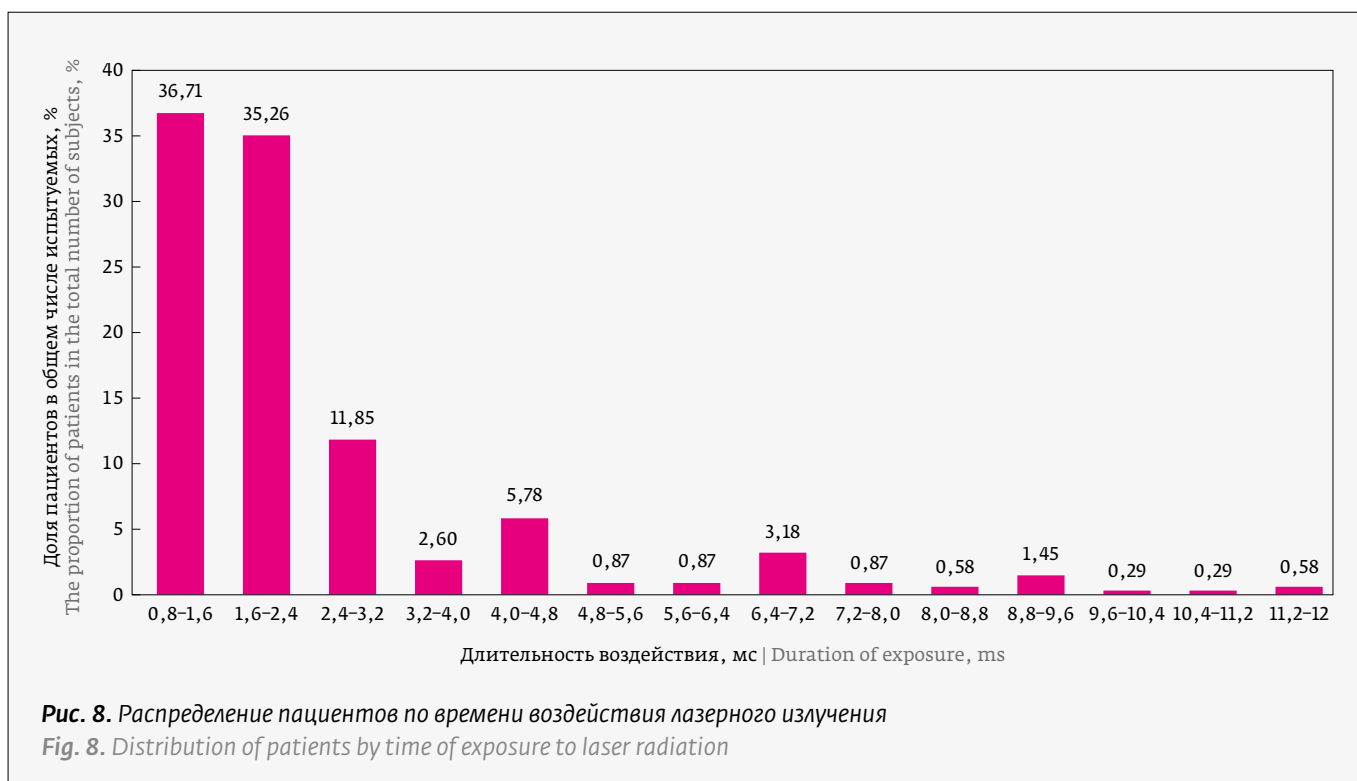
2. The amount of heat transferred between the layers due to diffusion should be calculated as follows:

$$Q_i = -\chi \cdot \frac{S \cdot (d_i - d_{i-1})}{d_i} dt, \quad (2)$$

where S is the cross-section area, d_i is the cross-section diameter at the step, χ is the coefficient of thermal conductivity, dt is the time step of the integration;

2. Calculations, as specified in clauses 1 and 2, should be recursively performed until the calculated temperature of the layer with a given depth (Formula 3) is equal to the set temperature.

$$T_i = T_i + \frac{Q_i}{C \cdot m_i}. \quad (3)$$



Разработанное программное обеспечение позволяет персонализировать лазерное воздействие на ткани индивидуального для каждого пациента. Биологическая модель – геморрой – требует дальнейшей разработки цитологических и гистологических параметров с учетом индивидуальных данных.

Развитие совершенствования программного обеспечения на базе созданной модели с учетом рискометрических параметров позволит расширить потенциал использования диодных лазеров в колопроктологии. И этот метод лазерной хирургии станет традиционным инструментом для врача.

REFERENCES

1. **Воробьев, Г. И.** *Основы колопроктологии* / Г. И. Воробьев. – Ростов-на-Дону: Издательство «Феникс», 2001. – 416 с.
Vorob'yov, G. I. *Osnovy koloproktologii* / G. I. Vorob'ev. – Rostov-na-Donu: Izdatel'stvo «Feniks», 2001. – 416 s.
2. **Zhizhin N. K., Sarkisyan YU. G., Potapova YU. V., Ivanov YU. V.** *Ispol'zovanie diodnogo lazera v lechenii gemorroidal'noj bolezni. Klinicheskaya praktika.* – 2016. – № 4. – С. 9–14.
Жижин Н. К., Саркисян Ю. Г., Потапова Ю. В., Иванов Ю. В. *Использование диодного лазера в лечении геморроидальной болезни. Клиническая практика.* – 2016. – № 4. – С. 9–14.
3. **Rivkin V. L.** *Rukovodstvo po koloproktologii* / V. L. Rivkin, A. S. Bronshtejn, S. N. Fajn. – М.: Изд-во «Медпрактика», 2001. – 300 с.
Ривкин В. Л. *Руководство по колопроктологии* / В. Л. Ривкин, А. С. Бронштейн, С. Н. Файн. – М.: Изд-во «Медпрактика», 2001. – 300 с.

The constants used by the program (reflection coefficients, heat capacity and thermal conductivity of biological tissue) necessary for calculation are made available in Table 2.

DISCUSSION OF THE RESULTS OBTAINED

The results of the developed algorithm employed and the program applied are presented below. A total of 362 patients were treated, the distribution of which by gender, age, and diagnosis of the disease is shown in Figures 4-6.

Without using a calculation program, the treatment algorithm provided for setting the output power of the diode laser at 10 W and varying the exposure time in the range of 800–3200 ms, depending on the diameter of the treated area as a subjective choice of the surgeon. On the one hand, this caused excessive tissue damage, on the other hand, repeated treatment was required in certain cases.

The use of the calculation program eliminated this downside. Consequently, the choice of parameters of the impacting laser radiation became personalized. As can be seen from the diagram in Fig.7, for 41.45% of patients, the laser radiation power was reduced by 20%, and for 29.57%, the power had to be reduced even by 30%.



СВАРКА и РЕЗКА

23-я международная специализированная
выставка оборудования, приборов
и инструментов для сварки и резки

5-8 апреля 2022







minskexpo.com



МАШИНОСТРОЕНИЕ

Международная специализированная выставка



ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ. ПОКРЫТИЯ

Минск, Беларусь, 2022



ЛИТМЕТЭКСПО

Минск, Беларусь, 2022

Организатор:



МИНСКЭКСПО

Тел.: +375 17 396 98 58
Факс: +375 17 396 98 58
+375 17 374 99 36
E-mail: e_fedorova@minskexpo.com

**Беларусь, г. Минск,
проспект Победителей, 20/2**

PHOTONICS vol. 15 №8 2021 685



4. **Tarhov N. S., Davydova E. A.** / Lazernyj dvuhvolnovoj hirurgicheskij apparat // *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki.* 2016; 12: 233–236.
Тархов Н. С., Давыдова Е. А. / Лазерный двухволновой хирургический аппарат // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки.* 2016;12: 233–236.
5. **Nasim H., Jamil Y.** *Diode lasers: From laboratory to industry. Optics & Laser Technology.* 2014;56: 211–222. DOI: 10.1016/j.optlastec.2013.08.012.
6. **Jahanshani A., Mashhadizadeh E., Sarmast M. H.** Diode laser for treatment of symptomatic hemorrhoid: a short term clinical result of a mini invasive treatment, and one year follow up. *Polish Journal of Surgery.* 2012;84:329–332.
7. **Bursics A, Morvay K, Kupcsulik P, Flautner L.** Comparison of early and 1-year follow-up results of conventional hemorrhoidectomy and hemorrhoid artery ligation: a randomized study. *Int J Colorectal Dis.* 2019; 19(2):176–80. DOI: 10.1007/s00384-003-0517-9.
8. **Simon S. B., et as.** "Short-Term and Long-Term Results of Combined Sclerotherapy and Rubber Band Ligation of Hemorrhoids and Mucosal Prolapse". *Dis Colon Rectum.* 2019;46(9): 1232–1237.
9. **Sohn N, Aronoff JS, Cohen FS., Weinstein MA.** Transanal hemorrhoidal dearterialization is an alternative to the operative hemorrhoidectomy. *Am. J. Surgery.* 2018; 182(5):515–519. DOI: 10.1016/s0002-9610(01)00759-0.
10. **N. K. Zhizhin, YU. YU. Kolbas, V. V. Harlamov, S. A. Nikitin, A. YU. Krylova, S. V. Titov.** Innovacionnyj metod ispol'zovaniya diodnogo lazera v lechenii gemorroidal'noj bolezni. *Kachestvo. Innovacii. Obrazovanie,* № 6 (170), 2020 г., s.99–104. DOI: 10.31145 / 1999-513x-2020-6-99-104
Н. К. Жижин, Ю. Ю. Колбас, В. В. Харламов, С. А. Никитин, А. Ю. Крылова, С. В. Титов. Инновационный метод использования диодного лазера в лечении геморроидальной болезни. *Качество. Инновации. Образование.* 2020; 6 (170): 99–104. DOI: 10.31145/1999-513x-2020-6-99-104.
11. Patent US 2007 / 0194658 A1. *Systems and methods for performing acoustic hemostasis of deep bleeding trauma in limbs / Jimin Zhang, David Perozek, John Kook, Ed Caldwell, Charles Emery, Robert Pedersen.*
12. **N. K. Zhizhin, YU. YU. Kolbas, E. V. Kuznetsov.** Ispol'zovanie lazеров v hirurgii. *PhotonicsRussia.* 2020;14 (3): 282–291. DOI: 10.22184 / 1993-7296. FROs.2020.14.3.282.291.
Н. К. Жижин, Ю. Ю. Колбас, Е. В. Кузнецов. Использование лазеров в хирургии. *Фотоника.* 2020;14 (3): 282–291. DOI: 10.22184 / 1993-7296. FROs.2020.14.3.282.291.

ОБ АВТОРАХ

- Жижин Никита Кириллович, с. н. с., АО «НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха», Москва. Выполненные задачи: разработка методики хирургического лечения
ORCID: 0000-0002-7825-3556
- Иванов Дмитрий Алексеевич, ведущий инженер-программист, АО «НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха», Москва. Выполненные задачи: создание пользовательской программы, базы данных.
ORCID: 0000-0001-9381-0747
- Иванов Максим Алексеевич, начальник лаборатории, АО «НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха», Москва. Выполненные задачи: создание программного алгоритма для реализации математической модели.
ORCID: 0000-0003-2738-0990
- Колбас Юрий Юрьевич, зам. нач. НПК-470, АО «НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха», Москва. Выполненные задачи: создание математической модели.
ORCID: 0000-0002-6867-0065
- Кузнецов Евгений Викторович Генеральный директор, доктор технических наук, профессор, АО «НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха», Москва. Выполненные задачи: разработка методики расчета.
ORCID: 0000-0002-3530-478x
- Надежда Алексеевна Кузина, инженер, АО «НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха», Москва. Выполненные задачи: разработка базы данных пациентов.
ORCID: 0000-0001-5594-1260
- Шибeko Елена Анатольевна, зав. терапевтическим отделением, Федеральный медицинский центр Росимущества. Выполненные задачи: разработка методики постоперационного лечения и сбор данных пациентов.
ORCID: 0000-0001-6356-0089

The diagram in Fig. 8 shows that the exposure time had to be significantly increased up to 12,000 ms for almost 16% of patients. But the surgery was completed in 1 cycle without having to apply the exposure repeatedly.

CONCLUSION

Consideration of the anthropometric parameters facilitates optimizing the radiation power, which further improves the morphometric parameters of the wound process, as well as reduces the wound healing period.

All these data were taken into account when writing the computer program, the following parameters were entered – the patient's height, weight, exposure time in seconds, wavelength, radiation power in watts. All these data were further processed and laser exposure was personalized using mathematical modeling methods.

The developed software can be used to personalize the laser effect on the tissues individually for each patient. The biological model – hemorrhoids – requires further development of cytological and histological parameters, with individual data to be taken into account.

The development of software improvement based on the created model, taking into account the risk measuring parameters, will expand the potential of the application of diode lasers in coloproctology. And this method of laser surgery will be widely used by doctors.

ABOUT AUTHORS

- Nikita Kirillovich Zhizhin. Senior Researcher, Research and Development Institute "Polyus" named after M. F. Stelmakh, Moscow. Completed tasks: Development of surgical treatment procedure.
ORCID: 0000-0002-7825-3556
- Dmitry Alekseyevich Ivanov. Principal Software Engineer, Research and Development Institute "Polyus" named after M. F. Stelmakh, Moscow. Completed tasks: Creation of user programs, databases.
ORCID: 0000-0001-9381-0747
- Maxim Alekseyevich Ivanov. Head of the Laboratory, Research and Development Institute "Polyus" named after M. F. Stelmakh, Moscow. Completed tasks: Creation of a software algorithm for the implementation of a mathematical model.
ORCID: 0000-0003-2738-0990
- Yuriy Yuriyevich Kolbas. Deputy Head of Research and Manufacturing Complex-470, Research and Development Institute "Polyus" named after M. F. Stelmakh, Moscow. Completed tasks: Creation of a mathematical model.
ORCID: 0000-0002-6867-0065
- Yevgeny Viktorovich Kuznetsov. General Director, Doctor of Engineering Science, Professor. Research and Development Institute "Polyus" named after M. F. Stelmakh, Moscow. Completed tasks: Development of calculation procedure
ORCID: 0000-0002-3530-478x
- Nadezhda Alekseyevna Kuzina. Research and Development Institute "Polyus" named after M. F. Stelmakh, Moscow. Completed tasks: Development of a patient database.
ORCID: 0000-0001-5594-1260
- Yelena Anatolyevna Shibeko. Head of the Therapeutic Department Federal Medical Center of the Federal Property Management Agency. Completed tasks: Development of post-surgery treatment procedure and collection of patient data.
ORCID: 0000-0001-6356-0089

23-27 | 05 | 2022

Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



22-я международная
специализированная
выставка

МЕТАЛЛОБРАБОТКА

«Оборудование,
приборы и инструменты
для металлообрабатывающей
промышленности»



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



www.metobr-expo.ru

12+ Реклама

ЭКСПОЦЕНТР