

ЛАЗЕРНАЯ МЕДИЦИНА



LASER MEDICINE



2024 / Том (Vol) 28 / № 4

ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ



«ФОТОДИТАЗИН®» концентрат для приготовления раствора для инфузий — лекарственное средство (РУ № ЛС 001246 от 18.05.2012 г.)
«ФОТОДИТАЗИН®» гель — изделие медицинского назначения (РУ № ФСР 2012/13043 от 03.02.2012 г.)
«ФОТОДИТАГЕЛЬ®» — косметическое средство (ДС ЕАЭС № RU Д- RU.HB42.B.06108/20 от 24.09.2020 г.)

Препараты применяются для флуоресцентной диагностики и фотодинамической терапии злокачественных новообразований, а также патологий неонкологического характера в следующих областях медицины:

- | | |
|------------------------|--------------------|
| ✓ гинекология | ✓ ортопедия |
| ✓ урология | ✓ комбустиология |
| ✓ нейрохирургия | ✓ гнойная хирургия |
| ✓ торакальная хирургия | ✓ дерматология |
| ✓ офтальмология | ✓ косметология |
| ✓ травматология | ✓ стоматология |

www.fotoditazin.com
www.фотодитазин.рф

ООО «БЕТА-ГРАНД»

123056, г. Москва, ул. Красина, д. 27, стр. 2
Тел.: +7 (499) 250-40-00, +7 (929) 971-44-46
E-mail: veta-grand@mail.ru



@FOTODITAZIN



@FOTODITAGEL_FDT



ISSN 2071-8004; DOI: <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2024-28-4>

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC AND CLINICAL JOURNAL

ЛАЗЕРНАЯ МЕДИЦИНА

L A Z E R N A Y A M E D I C I N A



LASER MEDICINE

Журнал основан в 1997 году
The magazine was founded in 1997

Учредитель:
ФГБУ «Научно-практический
центр лазерной медицины
им. О.К. Скобелкина»
ФМБА России
Москва, Россия

Founder:
Skobelkin Scientific
and Practical Center
for Laser Medicine
of FMBA of Russia
Moscow, Russia

2024 / Том (Vol.) 28 / № 4

ЛАЗЕРНАЯ МЕДИЦИНА – научно-практический рецензируемый журнал. Основан в 1997 г. Выходит 4 раза в год. К публикации принимаются теоретические, экспериментальные и клинические статьи по проблемам лазерной медицины, подготовленные в соответствии с правилами для авторов, размещенными в конце номера и на сайте журнала.

Регистрационный ПИ № ФС 77-69450 (14 апреля 2017 г.).
В регистре ISSN (International Standard Serial Number) зарегистрирован под названием Lazernaâ medicina, сокращенно Lasern. med. ISSN 2071-8004.
Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» – 43176.

Журнал включен ВАК РФ в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Журнал включен в Russian Science Citation Index (RSCI): Импакт-фактор журнала 0,442.
Журнал индексируется в базах данных: Академия Google (Google Scholar), СОЦИОНЕТ, NLM Catalog, ВИНТИ, WorldCat, Ulrich's Periodicals Directory

Зав. редакцией Рябов М.В.
Адрес редакции: 121165, Москва, ул. Студенческая, 40. Тел. 8 (495) 661-01-85.
E-mail: journal@goslasmed.ru. Сайт журнала: <http://goslasmed.elpub.ru/jour/>

Опубликованные материалы являются собственностью журнала «Лазерная медицина». Копирование и воспроизведение материалов, опубликованных в журнале, допускается только с письменного разрешения редакции.

Подписано в печать 25.12.2024.
Заказ № 12221.
Отпечатано в ООО «Издательство «Триада».
170034, г. Тверь, пр. Чайковского, 9, оф. 514. Тел.: +7 915 730 1037, +7 910 647 4985.
Тираж 250 экз.

LASER MEDICINE is a scientific and practical peer-reviewed journal. Founded in 1997. Published 4 times a year. Theoretical, experimental, and clinical articles on laser medicine prepared in accordance with the rules for authors published at the end of the issue and on the journal's website are accepted for publication.

Registration PI no. FS 77-69450 (April 14, 2017).
The ISSN (International Standard Serial Number) register is registered under the name Lazernaâ medicina, abbreviated as Laser. med. ISSN 2071-8004.
Subscription index in the United catalog «Press of Russia» – 43176.

The Journal is included in the «List of leading peer-reviewed editions, recommended for publication of Candidate's and Doctor's degree theses main results» approved by Higher Attestation Commission (VAK) RF.
The journal is included in the Russian Science Citation Index (RSCI): the journal's impact factor is 0.442.
The journal is indexed in the databases: Google Scholar; Socionet; NLM Catalog; VINITI; WorldCat; Ulrich's Periodicals Directory.

Chief of office Riabov M.V.
Address: 121165 Moscow, Studencheskaya str., 40. Tel.: 8 (495) 661-01-85
E-mail: journal@goslasmed.ru. Magazine website: <http://goslasmed.elpub.ru/jour/>

The published materials are the property of the «Laser Medicine» journal. Copying and reproduction of materials published in the journal is allowed only with the written permission of the editorial Board.

Signed for printing 25.12.2024.
Order No. 12221.
Printed in LTD «Publishing House «Triada».
170034, Tver, Tchaikovsky Ave., 9, office 514. Tel.: +7 915 730 1037, +7 910 647 4985.
Edition of 250 copies.

© Лазерная медицина, 2024

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Баранов А.В.

доктор медицинских наук, директор
ФГБУ «НПЦ лазерной медицины им. О.К. Скобелкина»
ФМБА России, Москва, Россия.
ORCID: 0000-0002-7995-758x.

CHIEF EDITOR

Baranov A.V.

Dr. Sci. (Med.), Director of Skobelkin
State Scientific Center of Laser Medicine
of FMBA of Russia, Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0002-7995-758x.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Асташов В.В.

доктор медицинских наук, профессор кафедры
анатомии человека ФГАОУ ВО
«Российский университет дружбы народов»,
Москва, Россия.
ORCID: 0000-0003-2846-1944.

EDITORIAL BOARD

Astashov V.V.

Dr. Sci. (Med.), Professor
of Anatomy Department
RUDN University,
Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0003-2846-1944.

Байбеков И.М.

доктор медицинских наук, профессор, руководитель
лаборатории патологической анатомии
ГУ «Республиканский специализированный научно-
практический медицинский центр хирургии им. академика
В.В. Вахидова», Ташкент, Республика Узбекистан.
ORCID: 0000-0003-0587-3188.

Baybekov I.M.

Dr. Sci. (Med.), Professor,
Head of Pathological
Anatomy Laboratory,
Vakhidov Scientific Center of Surgery,
Tashkent, Uzbekistan.
ORCID: 0000-0003-0587-3188.

Брилль Г.Е.

доктор медицинских наук, академик Российской
академии естественных наук, профессор кафедры
патологической физиологии ФГБОУ ВО «Саратовский
ГМУ им. В.И. Разумовского» Минздрава России,
Саратов, Россия.
ORCID: 0000-0002-0402-9420.

Brill G.E.

Dr. Sci. (Med.), Professor,
Academician of Russian Academy
of Natural Sciences, Head of Pathophysiology Chair,
Razumovsky Saratov State Medical University,
Saratov, Russia.
ORCID: 0000-0002-0402-9420.

Дуванский В.А.

доктор медицинских наук, профессор,
заведующий кафедрой эндоскопии, эндоскопической
и лазерной хирургии факультета непрерывного
медицинского образования медицинского института
ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»,
Москва, Россия.
ORCID: 0000-0001-5880-2629.

Duvanskiy V.A.

Dr. Sci. (Med.), Professor,
Head of the Department of Endoscopy,
endoscopic and laser surgery, RUDN University,
Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0001-5880-2629.

Козлов В.И.

доктор медицинских наук, профессор, заслуженный
деятель науки РФ, академик Международной
академии наук высшей школы, академик Европейской
академии естественных наук (Ганновер, Германия),
заведующий кафедрой анатомии человека
ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»,
Москва, Россия.
ORCID: 0000-0001-6332-748x.
Scopus Author ID: 56823798800.

Kozlov V.I.

Dr. Sci. (Med.), Professor, Honored scientist of Russia,
Academician of the International Academy of Sciences
of Higher School, Academician of the European Academy
of Natural Sciences (Hannover, Germany), Chief
of the Anatomy Department, RUDN University,
Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0001-6332-748x.
Scopus Author ID: 56823798800.

Ану Макела

доктор медицинских наук, профессор,
руководитель отдела клинических исследований
«ABER Институт»,
Хельсинки, Финляндия.
ORCID: 0000-0002-9262-1036.

Anu Makela

Dr. Sci. (Med.), T.C.M.D.,
N.D. Dean of Acupuncture and Bioenergy
Research, ABER Institut,
Helsinki, Finland.
ORCID: 0000-0002-9262-1036.

Наседкин А.Н.

доктор медицинских наук, профессор кафедры
оториноларингологии ГБУЗ МО «МОНИКИ
им. М.Ф. Владимирского», Москва, Россия.
ORCID: 0000-0003-3183-8749.

Панченков Д.Н.

доктор медицинских наук, профессор, заведующий
лабораторией минимально инвазивной хирургии
ФГБОУ ВО «МГМСУ им. А.И. Евдокимова»
Минздрава России, Москва, Россия.
ORCID: 0000-0001-8539-4392.

Рохкинд С.

доктор медицинских наук, профессор
Тель-Авивского университета, заведующий
отделением по восстановлению периферических
нервов «Ichilov Medical Center»,
Тель-Авив, Израиль.
ORCID: 0000-0002-9590-9764.

Сидоренко Е.И.

доктор медицинских наук, профессор,
член-корреспондент РАН,
заведующий кафедрой офтальмологии
ФГБОУ ВО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова»
Минздрава России, Москва, Россия.
ORCID: 0000-0002-9648-5625.

Странацко Е.Ф.

доктор медицинских наук, профессор, руководитель
отделения лазерной онкологии и фотодинамической
терапии ФГБУ «НПЦ ЛМ им. О.К. Скобелкина» ФМБА
России, Москва, Россия.
ORCID: 0000-0002-1589-7661.

Тучин В.В.

доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий кафедрой оптики и биопhotоники
ФГБОУ ВО «Саратовский национальный
исследовательский государственный университет
им. Н.Г. Чернышевского», Саратов, Россия.
ORCID: 0000-0001-7479-2694.

Nasedkin A.N.

Dr. Sci. (Med.), Professor of Otorhinolaryngology Chair,
Vladimirsky Moscow Regional Research and Clinical
Institute, Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0003-3183-8749.

Panchenkov D.N.

Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of Laboratory
of Minimally Invasive Surgery, A.I. Yevdokimov
Moscow State University of Medicine and Dentistry,
Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0001-8539-4392.

Rochkind S.

Dr. Sci. (Med.), Professor in Tel Aviv University,
Director of Division of Peripheral Nerve Reconstruction,
Department of Neurosurgery, Ichilov Medical Center,
Tel Aviv, Israel.
ORCID: 0000-0002-9590-9764.

Sidorenko E.I.

Dr. Sci. (Med.), Professor,
Academician of Russian Academy of Sciences,
Head of Ophthalmology Chair, Pirogov Russian
National Research Medical University,
Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0002-9648-5625.

Stranadko E.Ph.

Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of Department of
Laser Oncology and Photodynamic Therapy, Skobelkin
Scientific Center for Laser Medicine of FMBA of Russia,
Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0002-1589-7661.

Tuchin V.V.

Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor,
Head of Optics
and Biophotonics Department,
Chernyshevsky State Medical University,
Saratov, Russia.
ORCID: 0000-0001-7479-2694.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Алексеев Ю.В.

доктор медицинских наук, член-корреспондент
Российской академии естественных наук, ведущий
научный сотрудник-руководитель отделения
экспериментальной лазерной медицины
ФГБУ «НПЦ ЛМ им. О.К. Скобелкина» ФМБА России,
Москва, Россия.
ORCID: 0000-0003-4470-1960.

Ачилов А.А.

доктор медицинских наук, профессор, руководитель
отделения амбулаторной лазерной медицины ФГБУ
«НПЦ ЛМ им. О.К. Скобелкина» ФМБА России,
Москва, Россия.
ORCID: 0000-0001-7220-246x.

Беришвили И.И.

доктор медицинских наук, профессор, заслуженный
деятель науки РФ, заведующий лабораторией
трансмиекардиальной лазерной реваскуляризации
ФГБУ «НМИЦ сердечно-сосудистой хирургии
им. А.Н. Бакулева» Минздрава России, Москва, Россия.
ORCID: 0000-0002-7796-7856.

Гаспарян Л.В.

кандидат медицинских наук, научный сотрудник
EMRED Oy, Хельсинки, Финляндия.
ORCID: 0000-0002-7883-7420.

Данилин Н.А.

доктор медицинских наук, профессор, ведущий
научный сотрудник отделения лазерных технологий
в хирургии ФГБУ «НПЦ ЛМ им. О.К. Скобелкина»
ФМБА России, Москва, Россия.
ORCID: 0000-0003-2937-8173.

Дербенев В.А.

доктор медицинских наук, профессор, главный
научный сотрудник отделения лазерных технологий
в хирургии ФГБУ «НПЦ ЛМ им. О.К. Скобелкина»
ФМБА России, Москва, Россия.
ORCID: 0000-0003-1673-7800.

Елисеенко В.И.

доктор медицинских наук, профессор, главный
научный сотрудник научно-организационного отдела
ФГБУ «НПЦ ЛМ им. О.К. Скобелкина» ФМБА России,
Москва, Россия.
ORCID: 0000-0003-4932-7760.

Есауленко И.Э.

доктор медицинских наук, профессор,
ректор ФГБОУ ВО «ВГМУ им. Н.Н. Бурденко»
Минздрава России, Воронеж, Россия.
ORCID: 0000-0002-2424-2974.

EDITORIAL COUNCIL

Alekseev Yu.V.

Dr. Sci. (Med.), Corresponding Member
of the Russian Academy of Natural Sciences,
Head and Leading Researcher at Department of
Experimental Laser Medicine, Skobelkin Scientific Center
for Laser Medicine of FMBA of Russia,
Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0003-4470-1960.

Achilov A.A.

Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of Laser
Outpatient Medicine Department, Skobelkin State
Scientific Center of Laser Medicine FMBA of Russia,
Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0001-7220-246x.

Berishvilli I.I.

Dr. Sci. (Med.), Professor,
Head of Laboratory of Transmiecocardial Laser
Revascularization, Bakulev Center
for Cardiovascular Surgery,
Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0002-7796-7856.

Gasparyan L.V.

Cand. Sci. (Med.), Researcher in EMRED Oy,
Helsinki, Finland.
ORCID: 0000-0002-7883-7420.

Danilin N.A.

Dr. Sci. (Med.), Professor, Leading Researcher
at Department of Laser Technologies in Surgery,
Skobelkin Scientific Center for Laser Medicine
of FMBA of Russia, Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0003-2937-8173.

Derbenev V.A.

Dr. Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher at
Department of Laser Technologies in Surgery,
Skobelkin Scientific Center for Laser Medicine
of FMBA of Russia, Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0003-1673-7800.

Yeliseenko V.I.

Dr. Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher
at Department of Scientific Forecasting for Lasers
in Medicine, Skobelkin Scientific Center for Laser
Medicine of FMBA of Russia, Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0003-4932-7760.

Yesaulenko I.E.

Dr. Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher at
Department of Scientific Forecasting,
Skobelkin Scientific Center for Laser Medicine
of FMBA of Russia, Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0003-4932-7760.

Карандашов В.И.

доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник отделения лазерных технологий в хирургии ФГБУ «НПЦ ЛМ им. О.К. Скобелкина» ФМБА России, Москва, Россия.
ORCID: 0000-0002-0026-8862.

Ковалев М.И.

доктор медицинских наук, профессор кафедры акушерства и гинекологии ФГАОУ ВО «Сеченовский университет» Минздрава России, Москва, Россия.
ORCID: 0000-0002-0426-587x.

Минаев В.П.

кандидат технических наук, эксперт Лазерной ассоциации, главный научный сотрудник отдела лазерных технологий в медицине ООО «Научно-техническое объединение “ИРЭ-Полюс”», Фрязино, Россия.
ORCID: 0000-0001-9165-3039.

Петрищев Н.Н.

доктор медицинских наук, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры патофизиологии ФГБОУ ВО «ПСПбГМУ им. И.П. Павлова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия.
ORCID: 0000-0003-4760-2394.

Приезжев А.В.

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета, старший научный сотрудник Международного учебно-научного лазерного центра ФГБОУ ВО «МГУ им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия.
ORCID: 0000-0003-4216-7653.

Ступак В.В.

доктор медицинских наук, руководитель нейрохирургического отделения ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, Новосибирск, Россия.
ORCID: 0000-0003-3222-4837.

Фролов М.А.

доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой глазных болезней ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, Россия.
ORCID: 0000-0002-9833-6236.

Karandashov V.I.

Dr. Sci. (Med.), Professor, Leading Researcher at Department of Department of Laser Technologies in Surgery, Skobelkin Scientific Center for Laser Medicine of FMBA of Russia, Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0002-0026-8862.

Kovalev M.I.

Dr. Sci. (Med.), Professor of Chair of Obstetrics and Gynecology, Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia,
ORCID: 0000-0002-0426-587x.

Minaev V.P.

Dr. Sci. (Engineering), expert of Laser Association, Chief Researcher in laser technology in medicine and laser safety, «IRE-Polyus», Fryazino, Russia.
ORCID: 0000-0001-9165-3039.

Petrishchev N.N.

Dr. Sci. (Med.), Honored Scientist of Russia, Professor at Chair of Pathophysiology, Pavlov First Petersburg State Medical University, St-Petersburg, Russia.
ORCID: 0000-0003-4760-2394.

Priezzhev A.V.

Dr. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor at Chair of General Physics and Wave Processes, Faculty of Physics; Senior Researcher in International Educational – Research Laser Center, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0003-4216-7653.

Stupak V.V.

Dr. Sci. (Med.), Head of Neurosurgical Department, Tsyvyan Novosibirsk State Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Novosibirsk, Russia.
ORCID: 0000-0003-3222-4837.

Frolov M.A.

Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of Ophthalmology Chair, RUDN University, Moscow, Russia.
ORCID: 0000-0002-9833-6236.

Содержание

Contents

Оригинальные исследования

Original researches

Интраоперационная оценка жизнеспособности
тканей кишечника с применением современных
оптических технологий

**Адаменков Н.А., Мамошин А.В., Дрёмин В.В.,
Потапова Е.В., Шуплецов В.В., Горюнов И.А.,
Аладов А.В., Черняков А.Е., Дунаев А.В.**

8 The intraoperative assessment of intestinal tissue
viability with modern optical technologies

**Adamenkov N.A., Mamoshin A.V., Dremin V.V.,
Potapova E.V., Shupletsov V.V., Goryunov I.A.,
Aladov A.V., Chernyakov A.E., Dunaev A.V.**

Длительность сохранения гипополипидемического
эффекта курсовой внутривенной лазеротерапии
при нарушениях липидного обмена

**Ачилов А.А., Горнов С.В., Усмонзода Д.У.,
Бобоев К.Ф., Ачилова Л.Н., Пулатова М.Д.,
Мустафаев Р.Д., Коньков А.В.**

18 Duration of the hypolipidemic effect after the course
of intravenous laser therapy in patients with lipid
metabolism disorders

**Achilov A.A., Gornov S.V., Usmonzoda D.U.,
Boboev K.F., Achilova L.N., Pulatova M.D.,
Mustafaev R.D., Konkov A.V.**

Определение уровня воздействия, необходимого
для клинического результата при лечении
острой центральной серозной хориоретинопатии
по технологии селективной микроимпульсной
индивидуальной ретиальной терапии (СМИРТ)

Володин П.Л., Иванова Е.В.

26 Level of the impact necessary for obtaining clinical
results in patients with acute central serous
chorioretinopathy using the technology of selective
micropulse individual retinal therapy (SMIRT)

Volodin P.L., Ivanova E.V.

Обзор

Review

Особенности заживления ран, нанесенных
лучом CO₂-лазера. Обзор литературы

**Данилин Н.А., Курдыев И.В., Дербенев В.А.,
Мариничева И.Г.**

35 Healing of the wound caused by CO₂-laser beam.
A literature review

**Danilin N.A., Kurdyayev I.V., Derbenev V.A.,
Marinicheva I.G.**

Клиническое наблюдение

A clinical observation

Оценка функционального состояния печени у
пациента с синдромом механической желтухи на
фоне опухоли клацкина
(клиническое наблюдение)

**Сумин Д.С., Мамошин А.В., Кандурова К.Ю.,
Приземин В.Н., Дунаев А.В., Потапова Е.В.**

42 Assessment of the liver functional state in a patient
with obstructive jaundice associated with the
klatskin tumor (Clinical observation)

**Sumin D.S., Mamoshin A.V., Kandurova K.Y.,
Prizemin V.N., Dunaev A.V., Potapova E.V.**

УДК: 616.34

DOI: 10.37895/2071-8004-2024-28-4-8-17

Оригинальные исследования / Original research

ИНТРАОПЕРАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ТКАНЕЙ КИШЕЧНИКА С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Н.А. Адаменков^{1,2}, А.В. Мамошин^{1,3}, В.В. Дрёмин¹, Е.В. Потапова¹, В.В. Шуплецов¹,
И.А. Горюнов¹, А.В. Аладов⁴, А.Е. Черняков⁴, А.В. Дунаев¹

¹ ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», Орел, Россия

² БУЗ Орловской области «Орловская областная клиническая больница», Орел, Россия

³ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского», Москва, Россия

⁴ ФГБУН «Научно-технологический центр микроэлектроники и субмикронных гетероструктур РАН», Санкт-Петербург, Россия

Резюме

Цель: повышение точности диагностики нарушений микроциркуляции в тканях кишечной стенки у малых лабораторных животных путем внедрения метода гиперспектральной визуализации в сочетании с использованием управляемого полихромного светодиодного источника света.

Материалы и методы. Исследование проведено на 10 клинически здоровых крысах линии Wistar. Моделирование ишемии кишечника проводилось путем лигирования мезентериальных сосудов после лапаротомии под ингаляционным наркозом. Релапаротомия проводилась через 1, 6 и 12 часов. Определение жизнеспособности тканей кишечника и выявление вторичных патологических изменений выполнялись с использованием визуального метода Керте, а также с применением полихромного светодиода, обеспечивающего контрастную визуализацию биологических тканей. Оценка перфузии кишечной стенки проводилась системой гиперспектральной визуализации. Резекцию кишечника с последующим забором образцов для морфологического исследования проводили в соответствии с временными интервалами, установленными протоколом исследования.

Результаты. Установлено, что спектральный состав источника света, обеспечивающий достоверное распознавание некроза кишечной стенки, включает две спектральные линии с максимумами $\lambda_{peak} = 503$ нм и $\lambda_{peak} = 594$ нм при соотношении интенсивностей 2 : 1. Гиперспектральная визуализация позволила получить двумерные карты тканевой сатурации, значения которой составили $66 \pm 2\%$ (интактная ткань), $42 \pm 5\%$ (1 час), $26 \pm 3\%$ (6 часов) и $21 \pm 3\%$ (12 часов). Морфологический анализ выявил три ключевых интервала от момента начала ишемии: 1 час (начало ишемии), 6 часов (обратимая ишемия) и 12 часов (необратимый некроз). Данные подтверждают значительное снижение сатурации, коррелирующее с морфологическими изменениями, и эффективность метода для оценки жизнеспособности тканей кишечника.

Заключение. В ходе исследования разработана технология оптимизации хирургического освещения, направленная на улучшение контрастной визуализации ишемических и некротических изменений тканей. Применение гиперспектральной визуализации позволяет проводить неинвазивную и объективную интраоперационную оценку характера ишемического повреждения кишечной стенки без необходимости использования экзогенных флуоресцентных препаратов. Полученные результаты демонстрируют перспективность внедрения оптимизированного освещения и гиперспектральной визуализации в клиническую практику для улучшения диагностики и хирургического лечения ишемических поражений кишечника.

Ключевые слова: микроциркуляция кишечной стенки, ишемическое поражение кишечника, полихромный светодиодный источник света, гиперспектральная визуализация

Для цитирования: Адаменков Н.А., Мамошин А.В., Дрёмин В.В., Потапова Е.В., Шуплецов В.В., Горюнов И.А., Аладов А.В., Черняков А.Е., Дунаев А.В. Интраоперационная оценка жизнеспособности тканей кишечника с применением современных оптических технологий. *Лазерная медицина*. 2024; 28(4):8–17. <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2024-28-4-8-17>

Контакты: Адаменков Н.А., e-mail: nikita-ad@mail.ru

THE INTRAOPERATIVE ASSESSMENT OF INTESTINAL TISSUE VIABILITY WITH MODERN OPTICAL TECHNOLOGIES

Adamenkov N.A.^{1,2}, Mamoshin A.V.^{1,3}, Dremin V.V.¹, Potapova E.V.¹, Shupletsov V.V.¹, Goryunov I.A.¹,
Aladov A.V.⁴, Chernyakov A.E.⁴, Dunaev A.V.¹

¹ Orel State University, Orel, Russia

² Orel Regional Clinical Hospital, Orel, Russia

³ National Medical Research Center of Surgery named after A.V. Vishnevsky, Moscow, Russia

⁴ Submicron Heterostructures for Microelectronics, Research & Engineering Center of Russian Academy of Science, St. Petersburg, Russia

Abstract

Purpose. To improve the accuracy of diagnosing microcirculation disorders in the intestinal wall tissues in small laboratory animals by introducing hyperspectral imaging in combination with a controlled polychrome LED light source.

Materials and methods. 10 clinically healthy Wistar rats were used in the study. Intestinal ischemia was modeled by the ligation of mesenteric vessels after laparotomy under inhalation anesthesia. Relaparotomy was performed in 1, 6 and 12 hours. The viability of intestinal tissues and

the identification of secondary pathological changes were assessed with the visual Kerte method and a polychrome LED light source providing contrast visualization of biological tissues. Intestinal wall perfusion was assessed by the hyperspectral imaging system. Intestinal resection followed by the sampling for morphological examination was made according to time intervals established by the examination protocol.

Results. Spectral composition of the light source, which reliably detects the intestinal wall necrosis, includes two spectral lines with maxima of $\lambda_{\text{peak}} = 503 \text{ nm}$ and $\lambda_{\text{peak}} = 594 \text{ nm}$ at 2:1 intensity ratio. Hyperspectral imaging allowed to get two-dimensional maps of tissue saturation with the following values: $66 \pm 2 \%$ (intact tissue), $42 \pm 5 \%$ (1 hour), $26 \pm 3 \%$ (6 hours) and $21 \pm 3 \%$ (12 hours). The performed morphological analysis revealed three key ischemic intervals: 1 hour (ischemia onset), 6 hours (reversible ischemia) and 12 hours (irreversible necrosis). The obtained data confirm the significant decrease in saturation which correlates with morphological changes, and the effectiveness of the discussed technique for assessing the viability of intestinal tissues.

Conclusion. In the course of the study, the authors have developed a technology for optimizing the lighting during surgery so as to improve contrast imaging of ischemic and necrotic tissue changes. Hyperspectral imaging promotes non-invasive and objective intraoperative assessment of the ischemic damage in the intestinal wall without any exogenous fluorescent drugs. The obtained results also demonstrate the prospects of introducing optimized lighting and hyperspectral imaging into clinical practice so as to improve diagnosis and surgical treatment of ischemic intestinal lesions.

Keywords: microcirculation, intestinal wall, ischemic intestinal lesion, polychrome LED light source, hyperspectral imaging

For citation: Adamenkov N.A., Mamoshin A.V., Dremine V.V., Potapova E.V., Shupletsov V.V., Goryunov I.A., Aladov A.V., Chernyakov A.E., Dunaev A.V. The intraoperative assessment of intestinal tissue viability with modern optical technologies. *Laser Medicine*. 2024; 28(4): 8–17. [In Russ.]. <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2024-28-4-8-17>

Contacts: Adamenkov N.A., e-mail: nikita-ad@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

В ургентной хирургии органов брюшной полости наиболее значимой проблемой является нарушение перфузии кишечной стенки. Некроз кишечника – это терминальная стадия различных патологических процессов с ишемическим повреждением тканей вследствие снижения кровоснабжения одного из отделов кишечника [1]. Ишемия кишечника может быть как окклюзионной, так и неокклюзионной природы. Окклюзионная форма включает эмболию брыжеечной артерии (50 %), тромбоз брыжеечной артерии (20–35 %) и тромбоз брыжеечной вены (5–15 %). Острая брыжеечная ишемия составляет 0,1 % всех случаев госпитализации, однако имеет высокую летальность до 90 % [2]. Основными причинами некроза кишечника являются окклюзионные факторы, в частности компрессия питающих сосудов при странгуляционной кишечной непроходимости. Это может быть вызвано различными патологиями, такими как спаечная болезнь брюшной полости, при которой фиброзные тяжи сдавливают сосуды, нарушая кровообращение кишечника. Другой причиной является инвагинация – внедрение одного участка кишки в просвет другого, что также сдавливает сосуды брыжейки. Заворот кишечника, при котором петли перекручиваются вокруг оси брыжейки, вызывает ишемию из-за нарушения кровотока. Кроме того, окклюзия сосудов может быть обусловлена узлообразованием, при котором петли кишечника образуют узлы, сдавливающие питающие артерии и вены [3]. Отдельного внимания заслуживают ущемленные грыжи, при которых происходит сдавление кишечника и его сосудов в грыжевых воротах, что приводит к острой ишемии и некрозу тканей [4].

Интраоперационная оценка жизнеспособности кишечника представляет собой одну из наиболее сложных и ответственных задач в хирургической практике. Она играет ключевую роль в определении объема оперативного вмешательства, прогнозировании течения

послеоперационного периода, а также в предотвращении развития осложнений и улучшении исходов заболевания. Точная диагностика состояния кишечника во время операции позволяет хирургу принять решение о необходимости сохранения или удаления пораженного участка кишки. Это, в свою очередь, влияет на процесс восстановления пациента и снижает риск послеоперационных осложнений [5, 6]. Общепринятым методом интраоперационной оценки жизнеспособности кишечника является визуальный метод Керте, который широко используется в хирургической практике [7]. Данный метод основан на комплексной оценке нескольких ключевых критериев: наличия пульсации брыжеечных сосудов, что свидетельствует о сохранении кровоснабжения; активности перистальтических сокращений, отражающих функциональную состоятельность кишечной стенки; а также визуального анализа цвета серозной оболочки кишечника, который служит индикатором уровня оксигенации тканей. В норме жизнеспособная кишка имеет розовый цвет, выраженную пульсацию сосудов и активную перистальтику. Отклонения от этих параметров, такие как бледность, цианоз или темный оттенок стенки, отсутствие пульсации и перистальтики, могут указывать на ишемические изменения или некроз. Несмотря на свою простоту и доступность, метод Керте остается субъективным и зависит от опыта хирурга [8]. Согласно исследованию А. Karliczek и соавт. [9], диагностическая точность визуальной оценки жизнеспособности кишечника характеризуется чувствительностью на уровне 61,3 % и специфичностью, достигающей 88,5 %. Это свидетельствует о том, что, несмотря на относительно высокую способность метода правильно идентифицировать жизнеспособные ткани, его способность выявлять нежизнеспособные участки остается умеренной. Эти данные говорят о том, что визуальный метод не всегда помогает понять, есть ли ишемические изменения в кишечнике.

Нужно использовать более точные инструменты или технологии, чтобы лучше оценить состояние кишечника во время операции.

Современные методы интраоперационной диагностики включают ультразвуковую доплерографию, полярографию, лазерную доплеровскую флоуметрию, лазерную спекл-контрастную визуализацию, боковую темнопольную микроскопию, флуоресцентную визуализацию компартментов окислительного метаболизма, оптическую когерентную томографию, фотоплетизмографию и ICG-флуоресцентную визуализацию. Они предоставляют объективные количественные данные о жизнеспособности тканей кишечника [10]. Несмотря на значительный диагностический потенциал, внедрение этих технологий в клиническую практику сопряжено с рядом ограничений. Большинство из них требуют разработки специализированного оборудования, адаптированного для использования в операционных, и многоцентровых клинических исследований для валидации точности, воспроизводимости и безопасности. Кроме того, необходимы обучение медицинского персонала, стандартизация протоколов и интеграция в хирургические алгоритмы [11]. Несмотря на перспективность данных методик, их практическое применение ограничено, что требует дальнейших научных изысканий для оптимизации в клинической практике.

Освещение операционного поля имеет ключевое значение для успешного проведения хирургических вмешательств, помогая визуализировать анатомические структуры пациента и принимать решения [12]. Выбор оптимальных параметров освещения важен для безопасности пациента и удобства хирургической бригады [13]. Современные хирургические светильники, включая светодиодные модели, обеспечивают непрерывное освещение с естественной цветопередачей, высокую освещенность и снижают риск ожогов. Новые лампы улучшают контрастность биологических тканей за счет «акцентного» освещения с окрашенным светом, учитывающим спектральные характеристики отражения тканей. Подход может быть реализован на основе полихромных светодиодных излучателей с регулируемыми спектрально-цветовыми характеристиками. Свет ламп может иметь различные цвета и оттенки, улучшая видимость деталей операционного поля, особенно для тканей, отражающих свет определенных цветов. Это особенно полезно при операциях, требующих точного определения расположения тканей и органов. Регулировка спектрально-цветового состава света позволяет адаптировать освещение под конкретные потребности операции, например увеличивать яркость или изменять цвет для лучшего видения тканей. Лампы с «акцентным» окрашенным освещением могут значительно повысить качество и безопасность хирургических операций [15].

При разработке инновационных методов диагностики кишечной стенки особое внимание уделяют

мезентериальному кровотоку, изменения которого коррелируют с развитием ишемических процессов. Перспективно применение гиперспектральной визуализации – метода оптической диагностики, объединяющего цифровую визуализацию и спектроскопию диффузного отражения. Технология позволяет неинвазивно анализировать спектральные характеристики тканей для оценки уровня оксигенации, микроциркуляции и зон ишемии [16]. Гиперспектральные изображения биологических тканей позволяют определить пространственное распределение и концентрации биологических хромофоров, таких как оксигемоглобин, дезоксигемоглобин, меланин, билирубин, вода и другие. Это обеспечивает высокую точность и детализацию при оценке спектральных характеристик тканей, в отличие от мультиспектральных измерений с ограниченным набором данных. Анализ спектров диффузного отражения для каждого пикселя изображения позволяет определить уровень оксигенации тканей, коррелируя коэффициент отражения с концентрацией Hb/HbO. Это полезно для диагностики и мониторинга различных заболеваний.

Цель работы – повышение точности диагностики нарушений микроциркуляции в тканях кишечной стенки у малых лабораторных животных методом гиперспектральной визуализации с управляемым полихромным светодиодным источником света.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальное исследование было выполнено в лаборатории научно-технологического центра биомедицинской фотоники в Орловском государственном университете имени И. С. Тургенева (г. Орел, Россия) в период с сентября по декабрь 2023 года. В исследовании участвовали 10 клинически здоровых, половозрелых крыс-самцов линии Wistar, возрастом 3 месяца и средней массой тела 194 ± 6 г. Все манипуляции проводились с соблюдением принципов надлежащей лабораторной практики (Good Laboratory Practice, GLP). Условия содержания животных и экспериментальные процедуры соответствовали стандартам ГОСТ 33216–2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными» и этическим нормам, регулирующим гуманное обращение с животными. Протокол исследования был утвержден этическим комитетом Орловской областной клинической больницы (протокол № 2 от 18.09.23 г.). Животные содержались в карантинных условиях с контролем температуры, влажности и чистоты. Специальная предоперационная подготовка не проводилась. Для всех животных использовался единый стандартизированный протокол.

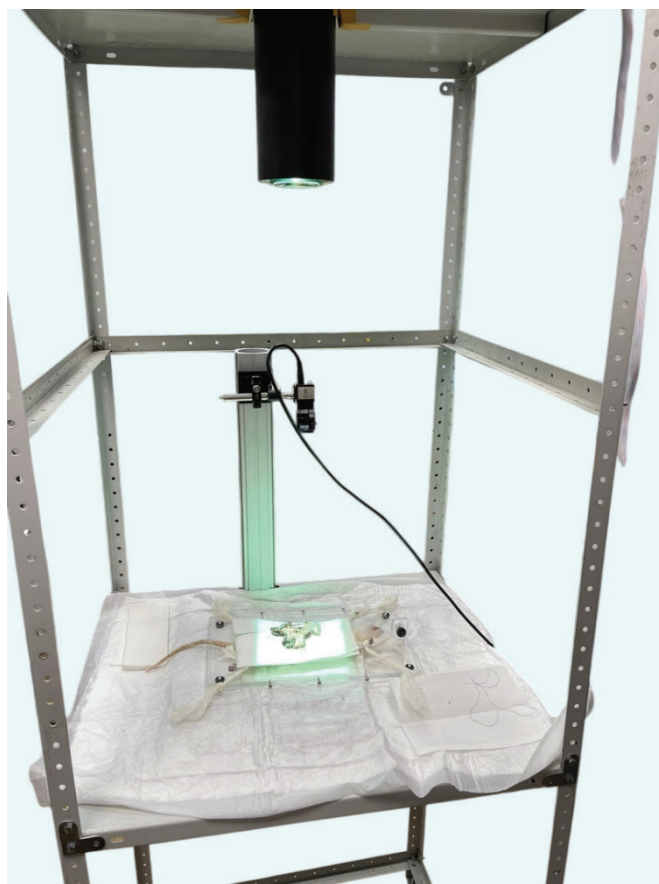
Для освещения операционного поля использовался управляемый цветодинамический хирургический осветитель (НТЦ микроэлектроники РАН, Санкт-Петербург) с шестью спектральными компонентами: синий (460 нм), бирюзовый (505 нм), зеленый

(530 нм), зелено-желтый (550 нм), оранжевый (590 нм) и красный (630 нм). Такая конфигурация охватывает до 90 % видимого спектра отражения биологических тканей. Оптическая система формирует однородное световое пятно (200×200 мм) с неравномерностью освещенности $\leq 5\%$ и цветовой неоднородностью $\sigma < 0,05$ при максимальной освещенности 30 клк. Программное обеспечение позволяет регулировать интенсивность излучения всех шести типов светодиодов. Управление осуществлялось удаленно с компьютера через Bluetooth с помощью разработанного программного обеспечения. Для объективной оценки перфузии кишечной стенки была разработана система гиперспектральной визуализации с источником света FRI61F50 (Thorlabs, Inc.) и камерой Specim IQ (Specim, Spectral Imaging Ltd.), охватывающей диапазон от 400 до 1000 нм. Для точности измерений использовался эталон диффузного отражения. Оперативное вмешательство выполнялось под ингаляционной анестезией с использованием 1,5 % изофлурана и проводилось в строгих асептических условиях. Для моделирования ишемии была осуществлена срединная

лапаротомия, после которой тонкая кишка была извлечена из брюшной полости, а ее магистральные сосуды перевязаны капроновыми лигатурами 3.0. После перевязки кишечник возвращался в брюшную полость, а хирургическая рана закрывалась с помощью полипропиленовой нити 2.0 методом непрерывного шва. Для анализа состояния и патологических изменений кишки в результате ишемии проводилось морфологическое исследование на различных временных интервалах после наложения лигатуры: через 1, 6 и 12 часов. Каждому животному в соответствии с этими временными рамками проводилась повторная лапаротомия.

Переоснащенный хирургический светильник с изменяемым спектром устанавливался на высоте 70 см над специализированным операционным столом для мелких лабораторных животных, что способствовало формированию однородного светового поля не менее 20×20 см (рис. 1).

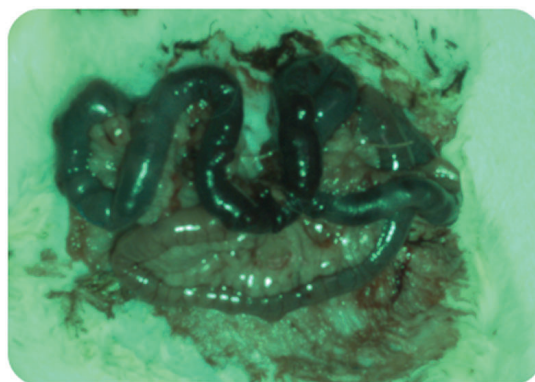
Для оценки некроза кишечника методом Керте использовался управляемый полихромный светодиодный источник света в двух условиях освещения:



а



б



в

Рис. 1. а – схема проведения исследования при использовании управляемого бестеневого полупроводникового источника света для контрастной визуализации биологических тканей при хирургических операциях; б – кишечник крысы при освещении, повторяющем по спектральному составу излучение хирургической лампы; в – кишечник крысы при оптимизированном освещении.

Fig. 1. а – study scheme with controlled shadowless semiconductor light source which allows to get contrast imaging of biological tissues during surgeries; б – image of the rat intestine under the lighting which has the radiation spectral composition of a surgical lamp; в – image of the rat intestine under the optimized lighting.

стандартном хирургическом (рис. 1 б) и оптимизированном для контрастной визуализации тканей (рис. 1 в). Спектральный состав излучения контролировался портативным спектрометром МК350 (UPRtek, Тайвань). Пять хирургов независимо оценивали состояние кишечника в обоих режимах освещения. Сначала оценивалась жизнеспособность кишечника при стандартном освещении, затем – при оптимизированном спектре. Во время исследования производилась регистрация гиперспектральных изображений тонкой кишки для анализа в указанные временные интервалы. Для стандартизации и корректного анализа данных был применен эталон диффузного отражения, что повысило достоверность исследования [17, 18]. На основе различия в поглощении света несвязанной и связанной с кислородом формами гемоглобина был разработан параметр тканевой сатурации. Это было выполнено двухволновым методом в ближней инфракрасной области, с использованием измеренных коэффициентов диффузного отражения [19, 20].

$$S_t O_2 = \frac{\mu_{Hb}(750) - \mu_{Hb}(795) \frac{R_{795}}{R_{750}}}{\mu_{Hb}(750) - \mu_{HbO_2}(750)},$$

где R_{795} и R_{750} – измеренные коэффициенты диффузного отражения на длинах волн 797 и 750 нм соответственно;

$\mu_{Hb}(750)$ и $\mu_{HbO_2}(750)$ – коэффициенты поглощения в неизобестической точке дезоксигенированной и насыщенной кислородом крови соответственно;

$\mu_{Hb}(795)$ – коэффициент поглощения дезоксигенированной крови в изобестической точке.

После исследования признаков ишемии и некроза стенки кишечника была выполнена резекция тонкой

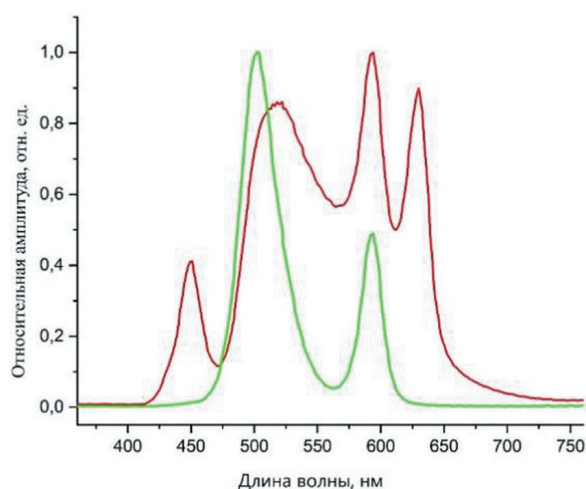


Рис. 2. Спектральные характеристики света операционной лампы отображены красной линией, зеленая линия представляет излучение, которое считается оптимальным для четкой визуализации ишемических и некротических изменений в кишечнике

Fig. 2. Spectral characteristics of the light from a surgical lamp (red line); optimized light (green line) – better visualization of ischemic and necrotic changes in the intestine

кишки с фиксацией образцов в 10 % забуференном формалине в течение 24 часов. Из проб забирали репрезентативные участки, которые обрабатывались с помощью гистологического процессора LOGOS (Milestone Medical) для получения парафиновых блоков. Срезы толщиной 4 мкм изготавливались на микротоме Leica RM2125 RTS (Leica Biosystems) и окрашивались гематоксилином и эозином (Biovitrum). Оценка патоморфологических изменений проводилась при моделировании ишемии различной длительности по классификации Park-Chiu [21]. По завершении экспериментов животные были выведены из исследования в соответствии с протоколом, одобренным этическим комитетом.

Статистическую обработку полученных данных выполняли в программной среде OriginPro. Полученные результаты представлены в виде диаграмм размаха. Для определения различий показателей между группами использовали критерий Манна – Уитни. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На основе индивидуальных оценок участников экспертизы, а также их последующего обсуждения и достижения общего мнения было установлено, что для наиболее эффективной визуализации некроза кишечника оптимально использовать спектр излучения, представленный на рис. 2, при освещенности около 6000 лк.

Этот спектр является суммарным и состоит из двух спектров с центральными длинами волн 503 и 594 нм, с соотношением интенсивностей 2 : 1. Координаты цветности этого света на диаграмме Международной колориметрической системы 1931 составляют: $X = 0,27$, $Y = 0,51$. Использование этого полихроматического освещения критически важно.

На гиперспектральных картах интактная кишечная стенка была светло-зеленой (рис. 3 а) со средним значением сатурации $66 \pm 2\%$. Через час после лигирования магистральных сосудов кишечника сатурация снизилась до $42 \pm 5\%$, а ткань приобрела светло-коричневый оттенок (рис. 3 б). Через 6 часов значение сатурации уменьшилось до $26 \pm 3\%$, что сопровождалось темно-коричневым окрашиванием (рис. 3 в). Через 12 часов сатурация составила $21 \pm 3\%$, кишечная стенка визуализировалась черным цветом (рис. 3 г). На всех этапах исследования гиперспектральные карты демонстрировали увеличение контрастности в зонах ишемии (табл.).

Для объективной оценки улучшений в качестве визуализации ишемических и некротических изменений в кишечной ткани был проведен численный эксперимент с оптимизированным спектральным составом света, определенным экспертами. Архитектура компьютерного зрения Unet, включающая сверточные слои, регуляризаторы и межслойные соединения для сегментации изображений, стала основой

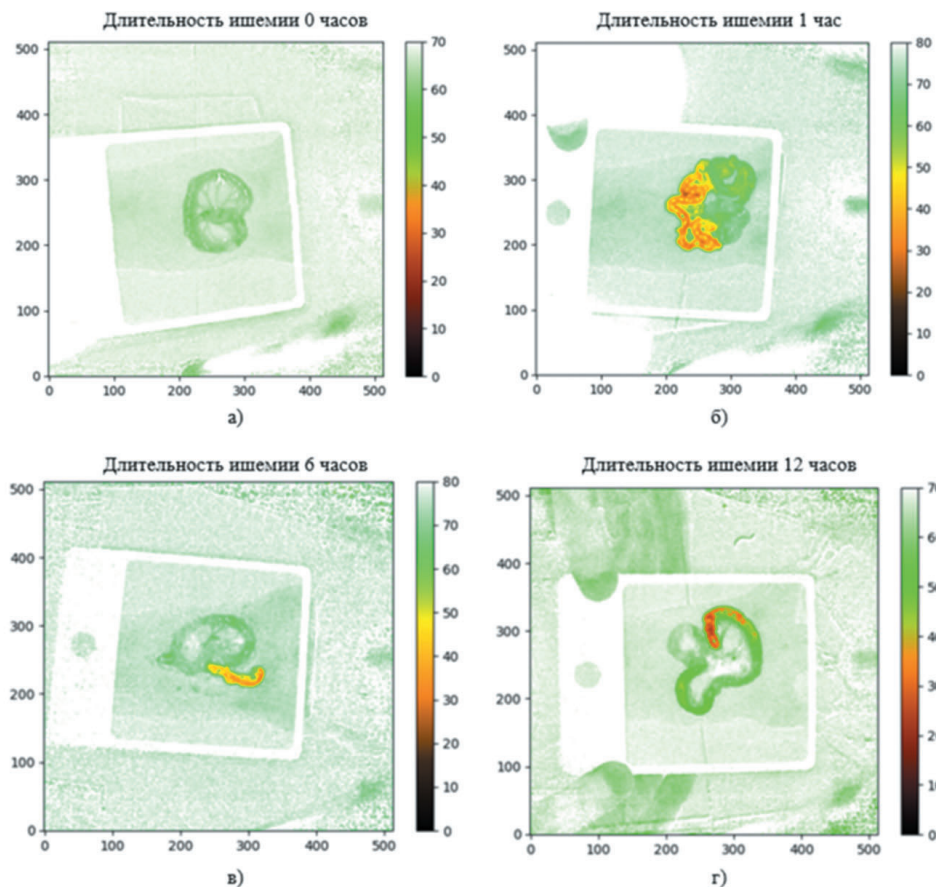


Рис. 3. Двумерные карты тканевой сатурации при моделировании ишемии кишечной стенки: а – интактный кишечник; б – через 1 час с начала момента моделирования ишемии; в – через 6 часов с момента начала моделирования ишемии; г – через 12 часов с момента начала моделирования ишемии

Fig. 3. Two-dimensional maps of tissue saturation at intestinal ischemia modeling: а – intact intestine; б – one hour after ischemia simulation; в – 6 hours after ischemia simulation; г – 12 hours after ischemia simulation

Таблица

Усредненные значения тканевой сатурации и цветовые изменения кишечной стенки на различных этапах ишемии

Table

Average values of tissue saturation and color changes of the intestinal wall at various stages of ischemia	
Время (часы) Time (hours)	Среднее значение сатурации, % Average saturation, %
0	66 ± 2
1	42 ± 5
6	26 ± 3
12	21 ± 3

исследования. В рамках эксперимента было разработано 20 моделей, обученных на 98 изображениях. Данные были разделены на тренировочную и тестовую выборки в пропорции 80/20. Контрольная группа – это результаты диагностики ишемии и некроза кишечника, полученные при имитации освещения операционного поля хирургической лампой белого света. Обучено около 20 моделей, которые должны точно выделять три класса: «ишемия», «здоровый кишечник» и «фон», минимизируя ложноположительные и ложноотрицательные результаты. Эффективность

сегментации оценивалась с помощью коэффициента Жаккара (IoU), стандартного показателя для оценки качества сегментации. Модели обучались с использованием библиотек Python: «Segmentation Models», «Keras» и «NumPy». Изображения размещались на три класса: «ишемия», «здоровый кишечник» и «фон». Средний коэффициент Жаккара [22] для освещения стандартной операционной лампы составил $0,814 \pm 0,010$, в то время как для спектра света, предложенного экспертами, этот показатель увеличился до $0,823 \pm 0,019$ (рис. 5).

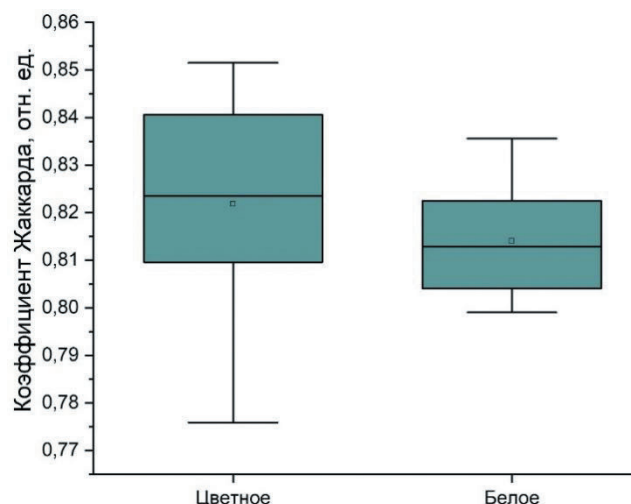


Рис. 5. Результаты анализа точности сегментации тканей кишечника при использовании полихроматического освещения (цветной источник света) и стандартного белого света (операционная лампа)

Fig. 5. Results of the analysis on the accuracy of segmentation of intestinal tissues using polychromatic lighting (color light source) and standard white light (surgical lamp)

Использование оптимизированного освещения повысило точность распознавания на моделях, обученных с его применением. Это подтверждает, что применение более информативного спектрального состава света улучшает визуализацию ишемических изменений в кишечной ткани, что усиливает диагностическую ценность метода. Морфологическое исследование показало, что через 1, 6 и 12 часов после наложения лигатуры в тканях кишечной стенки происходят значительные изменения. Через 1 час наблюдается десквамация эпителия и отек ворсинок, в слизистой оболочке – лимфогистиоцитарная инфильтрация, а в подслизистом слое – полнокровие сосудов, что соответствует второй степени ишемии. Через 6 часов возникает диффузный некроз ворсинок с геморрагическим компонентом и деструкцией крипт, отек и полиморфноклеточная инфильтрация в подслизистом слое, а сосуды становятся расширенными с явлениями сладжа, что соответствует пятой–шестой степени ишемии. Через 12 часов стенка кишки некротизируется, что говорит о необратимых изменениях.

ОБСУЖДЕНИЕ

Сегодня в клинической практике отсутствует универсальный и общедоступный метод оценки жизнеспособности кишечной ткани, который мог бы быть эффективно применен в ходе оперативных вмешательств. Существующие традиционные методы интраоперационной визуальной оценки состояния кишечной стенки, основанные на макроскопических критериях (таких как цвет, перистальтика, пульсация сосудов брыжейки), демонстрируют ограниченную прогностическую ценность в отношении диагностики ишемического некроза тканей. Эти методы

характеризуются недостаточной чувствительностью и специфичностью, что приводит к значительному количеству ложноположительных и ложноотрицательных результатов при интерпретации изменений морфофункционального состояния кишечной стенки. Ложноположительные результаты могут стать причиной необоснованной резекции кишечника, что увеличивает риск послеоперационных осложнений, таких как синдром короткой кишки, нарушение нутритивного статуса и развитие спаечной болезни. Ложноотрицательные результаты, напротив, могут привести к сохранению нежизнеспособных участков кишечника, что чревато прогрессированием ишемии, перфорацией стенки кишки и развитием перитонита. В настоящее время предложен ряд альтернативных методов оценки жизнеспособности кишечника, включая флуоресцентную ангиографию с использованием индоцианина зеленого, лазерную доплеровскую флоуметрию, спектрофотометрию, а также оценку тканевого pH и уровня маркеров ишемии. Однако каждый из этих методов имеет свои ограничения, связанные с доступностью оборудования, сложностью интерпретации данных, необходимостью дополнительного обучения персонала и высокой стоимостью. Таким образом, многообразие существующих подходов подчеркивает актуальность дальнейших исследований, направленных на разработку оптимального метода оценки жизнеспособности кишечника. Идеальный метод должен сочетать в себе высокую диагностическую точность, доступность в условиях экстренной хирургии, простоту использования, минимальную инвазивность и экономическую целесообразность. Внедрение такого метода в клиническую практику позволит снизить частоту послеоперационных осложнений, улучшить прогноз и качество жизни пациентов, а также оптимизировать тактику хирургического лечения при патологиях, сопровождающихся ишемией кишечника.

В ходе нашего исследования установлено, что использование гиперспектральной визуализации предоставляет возможность получения информации о состоянии микроциркуляции крови в тканях кишечной стенки через оценку показателя тканевой сатурации. Гиперспектральная визуализация обеспечивает высокую точность и объективность диагностики в режиме реального времени, что делает ее ценным инструментом для интраоперационного мониторинга и определения тактики хирургического вмешательства [23]. Применение светодиодного излучателя с различными спектрально-цветовыми характеристиками способствует улучшению визуальной интерпретации ишемических и некротических изменений в тканях кишечной стенки. Важно определить показания для применения гиперспектральной визуализации и ее место в диагностическом алгоритме острой ишемии кишечника. Также необходимо внедрить контрастное освещение в рутинную хирургическую практику.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основываясь на мнении группы хирургов-экспертов, было выбрано оптимальное спектральное освещение, позволяющее более точно идентифицировать набор визуализационных признаков жизнеспособности кишечной ткани по методике Керте. Использование гиперспектральной визуализации предоставляет возможность проведения неинвазивной и объективной интраоперационной оценки характера ишемического повреждения стенки кишечника, исключая необходимость применения экзогенных флуоресцентных препаратов. Таким образом, интеграция гиперспектральной визуализации и контрастного освещения биологических тканей в клиническую практику создает новые перспективы для совершенствования диагностики и лечения патологий, связанных с нарушением мезентериального кровообращения.

ЛИТЕРАТУРА

- Zachariah S.K. Adult necrotizing enterocolitis and non occlusive mesenteric ischemia. *J. Emergencies, Trauma Shock*. 2011; 4 (3): 430–432. DOI: 10.4103/0974-2700.83881
- Ярошук С.А., Баранов А.И., Каташева Л.Ю., Лещин Я.М. Острая мезентериальная ишемия: подходы к диагностике и оперативному лечению. *Медицина в Кузбассе*. 2018; 17 (2): 35–42.
- Маев И.В., Войновский Е.А., Луцевич О.Э., Вьюнова Е.С., Урбанович А.С., Дичева Д.Т., Лебедева Е.Г., Андреев Д.Н., Морозова А.В., Суркова О.А., Верюгина Н.И. Острая кишечная непроходимость (методические рекомендации). *Доказательная гастроэнтерология*. 2013; (1): 36–51.
- Руководство по неотложной хирургии органов брюшной полости. *Руководство для врачей. 2-е изд.* Под. ред. Савельева В.С. М.: МИА; 2020.
- Urbanavičius L., Pattyn P., Putte D.V., Venskutonis D. How to assess intestinal viability during surgery: A review of techniques. *World J Gastrointest Surg*. 2011; 3(5): 59–69. DOI: 10.4240/wjgs.v3.i5.59
- Bryski M.G., Frenzel Sulyok L.G., Kaplan L., Singhal S., Keating J.J. Techniques for intraoperative evaluation of bowel viability in mesenteric ischemia: A review. *Am. J. Surg*. 2020; 220 (2): 309–315. DOI: 10.1016/j.amjsurg.2020.01.042
- Родин А.В., Плешков В.Г. Интраоперационная оценка жизнеспособности кишки при острой кишечной непроходимости. *Вестник Смоленской государственной медицинской академии*. 2016; 15 (1): 75–82.
- Шаповальянц С.Г., Ларичев С.Е., Сажин А.В., Щеролев А.А., Гуляев А.А., Бебуришвили А.Г., Прутков М.И., Шулуто А.М., Дарвин В.В. Национальные клинические рекомендации «Острая неопуховая кишечная непроходимость». *Приняты на XII Съезде хирургов России «Актуальные вопросы хирургии», Ростов-на-Дону, 7–9 октября. Ростов-на-Дону*, 2015. 36 р.
- Karliczek A., Harlaar N.J., Zeebregts C.J., Wiggers T., Baas P.C., van Dam G.M. Surgeons lack predictive accuracy for anastomotic leakage in gastrointestinal surgery. *Int J Colorectal Dis*. 2009; 24 (5): 569–76. DOI: 10.1007/s00384-009-0658-6
- Адаменков Н.А., Мамошин А.В., Дремин В.В., Потапова Е.В., Шуплецов В.В., Горюнов И.А., Палалов А.А., Дунаев А.В. Оценка перфузии кишечной стенки в условиях ишемии с применением метода гиперспектральной визуализации. *Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал)*. 2024; 8 (1): 5–13. DOI: 10.17116/operhirurg202480115
- Дунаев А.В. Мультимодальная оптическая диагностика микроциркуляторно-тканевых систем организма человека: монография. Старый Оскол: ТНТ; 2022. [440].
- Аладов А.В., Валюхов В.П., Закгейм А.Л., Купцов В.Д., Мамошин А.В., Потапова Е.В., Черняков А.Е., Фотиади А.Э. Оптимизация освещения операционного поля с целью получения максимального контраста при визуализации биологических объектов. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки*. 2019; 12 (4): 79–88. DOI: 10.18721/JPM.12408
- Mamoshin A.V., Alyanov A.L., Seryogina E.S., Potapova E.V., Dunaev A.V., Ivanov A.V., Aladov A.V.. Possibilities of using dynamically controlled semiconductor light sources during surgical operations. *EEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics*. 2018; 22: 288–291. DOI: 10.1109/EEExPolytech.2018.8564383
- Аладов А.В., Валюхов В.П., Закгейм А.Л., Купцов В.Д., Мамошин А.В., Потапова Е.В., Черняков А.Е., Фотиади А.Э. Оптимизация освещения операционного поля с целью получения максимального контраста при визуализации биологических объектов. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки*. 2019. 12 (4): 79–88. DOI: 10.18721/JPM.12408
- Kurabuchi Y., Nakano K., Ohnishi T., Nakahuchi T., Hata-Kasari M., Haneishi H. Optimization of Surgical Illuminant Spectra for Organ Microstructure Visualization. *IEEE Access*. 2019; 7: 70733–70741. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2919451
- Dremin V.V., Zhrebtssov E.A., Popov A.P., Meglinski I.V., Bykov A.V. Hyperspectral imaging of diabetes mellitus skin complications. *In Biomedical Photonics for Diabetes Research*. 2022; 177–195.
- Dremin V.V., Marcinkevics Z., Zhrebtssov E.A., Popov A.P., Grabovskis A., Kronberga H., Geldnere K., Doronin A.A., Meglinski I.V., Bykov A.V. Skin complications of diabetes mellitus revealed by polarized hyperspectral imaging and machine learning. *IEEE Transactions on Medical Imaging*. 2021; 40 (4): 1207–1216. DOI: 10.1109/TMI.2021.3049591
- Zhrebtssov E.A., Dremin V.V., Popov A.P., Doronin A.A., Kurakina D., Kirillin M., Meglinski I.V., Bykov A.V. Hyperspectral imaging of human skin aided by artificial neural networks. *Biomedical optics express*. 2019; 10 (7): 3545–3559.
- Zimmermann A. The role of intraoperative hyperspectral imaging (HSI) in colon interposition after esophagectomy. *BMC surgery*. 2023; 2 (23): 47. DOI: 10.1186/s12893-023-01946-3
- Potapova E.V., Dremin V.V., Zhrebtssov E.A., Makovik I.N., Zhrebtssova A.I., Dunaev A.V., Muradyan V.F. Evaluation of microcirculatory disturbances in patients with rheumatic diseases by the method of diffuse reflectance spectroscopy. *Hum Physiol*. 2017; 43: 222–228. DOI: 10.1134/S036211971702013X
- Bertacco A., Dehner C.A., Caturegli G., D'Amico F., Morotti R., Rodriguez M.I., Mulligan D.C., Krieger M.A., Geibel J.P.

Modulation of Intestinal Microbiome Prevents Intestinal Ischemic Injury. *Front. Physiol.* 2017; 8: 1064. DOI: 10.3389/fphys.2017.01064

22. Canceco J., Winokur E.J. Mesenteric Ischemia: Concepts of Care for the Bedside Nurse. *Gastroenterol Nurs.* 2018; 41 (4): 305–311. DOI: 10.1097/SGA.0000000000000329
23. Zhrebtsov E.A., Dremine V.V., Popov A.P., Doronin A.A., Kurakina D., Kirillin M., Bykov A.V. Hyperspectral imaging of human skin aided by artificial neural networks. *Biomedical optics express.* 2019; 10 (7): 3545–3559.

REFERENCES

1. Zachariah S.K. Adult necrotizing enterocolitis and non occlusive mesenteric ischemia. *J. Emergencies, Trauma Shock.* 2011; 4 (3): 430–432. DOI: 10.4103/0974-2700.83881
2. Yaroshhuk S.A., Baranov A.I., Katasheva L.Yu., Leshishin Ya.M. Ostraya mezenterial'naya ishemiya: podxody k diagnostike i operativnomu lecheniyu. *Medicina v Kuzbasse.* 2018; 17 (2): 35–42. (In Russ.).
3. Maev I.V., Vojnovskij E.A., Lucevich O.E., V'yuchnova E.S., Urbanovich A.S., Dicheva D.T., Lebedeva E.G., Andreev D.N., Morozova A.V., Surkova O.A., Veryugina N.I. Acute intestinal obstruction (the guidelines). *Russian Journal of Evidence-Based Gastroenterology.* 2013; (1): 36–51. (In Russ.).
4. Rukovodstvo po neotlozhnoj xirurgii organov bryushnoj polosti. *Rukovodstvo dlya vrachej. 2-e izdanie.* Pod. red. VS Savel'eva. Moscow: MIA; 2020. (In Russ.).
5. Urbanavičius L., Pattyn P., Putte DV., Venskutonis D. How to assess intestinal viability during surgery: A review of techniques. *World J Gastrointest Surg.* 2011; 3(5): 59–69. DOI: 10.4240/wjgs.v3.i5.59
6. Bryski M.G., Frenzel Sulyok L.G., Kaplan L., Singhal S., Keating J.J. Techniques for intraoperative evaluation of bowel viability in mesenteric ischemia: A review. *Am. J. Surg.* 2020; 220 (2): 309–315. DOI: 10.1016/j.amjsurg.2020.01.042
7. Rodin A.V., Pleshkov V.G. Intraoperacionnaya ocenka zhiznesposobnosti kishki pri ostroj kischechnoj neproxodimosti. *Vestnik Smolenskoi gosudarstvennoi meditsinskoi akademii.* 2016; 15 (1): 75–82. (In Russ.).
8. Shapovalyants S.G., Larichev S.E., Sazhin A.V., Shchegolev A.A., Gulyaev A.A., Beburishvili A.G., Prutkov M.I., Shulutko A.M., Darwin V.V. National clinical recommendations "Acute non-tumour intestinal obstruction". *Adopted at the XII Congress of Surgeons of Russia "Topical issues of surgery", Rostov-on-Don, 7–9 Oct. Rostov-na-Donu;* 2015. 36 p. (In Russ.).
9. Karliczek A., Harlaar N.J., Zeebregts C.J., Wiggers T., Baas P.C., van Dam G.M. Surgeons lack predictive accuracy for anastomotic leakage in gastrointestinal surgery. *Int J Colorectal Dis.* 2009; 24 (5): 569–76. DOI: 10.1007/s00384-009-0658-6
10. Adamenkov N.A., Mamoshin A.V., Dremine V.V., Potapova E.V., Shuplecov V.V., Goryunov I.A., Palalov A.A., Dunaev A.V. Assessment of intestinal wall perfusion under ischemic conditions using hyperspectral imaging. *Russian Journal of Operative Surgery and Clinical Anatomy.* 2024;8(1):5-13. (In Russ.). DOI: 10.17116/operhirurg202480115
11. Dunaev A.V. Multimodalnaya opticheskaya diagnostika mikrocirkulyatorno-tkanevyh sistem organizma cheloveka: monografiya. Staryj Oskol: TNT; 2022. [440] (In Russ.).
12. Aladov A.V., Valyukhov V.P., Zakgeim A.L., Kuptsov V.D., Mamoshin A.V., Potapova E.V., Chernyakov A.E., Fotiadi A.E. Optimization of surgical field illumination to maximize the contrast when biological objects being visualized, *St. Petersburg Polytechnical State University Journal. Physics and Mathematics.* 2019; 12 (4): 79–88. (In Russ.). DOI: 10.18721/JPM.12408
13. Mamoshin A.V., Alyanov A.L., Seryogina E.S., Potapova E.V., Dunaev A.V., Ivanov A.V., Aladov A.V. Possibilities of using dynamically controlled semiconductor light sources during surgical operations. *EEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics.* 2018; 22: 288–291. DOI: 10.1109/EEExPolytech.2018.8564383
14. Аладов А.В., Валухоx В.П., Закгейм А.Л., Купцов В.Д., Мамошин А.В., Потапова Е.В., Черняков А.Е., Фотиади А.Э. Оптимизация освещения операционного поля с целью получения максимального контраста при визуализации биологических объектов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. *Физико-математические науки.* 2019. 12 (4): 79–88. (In Russ.). DOI: 10.18721/JPM.12408
15. Kurabuchi Y., Nakano K., Ohnishi T., Nakahuchi T., Houta-Kasari M., Haneishi H. Optimization of Surgical Illuminant Spectra for Organ Microstructure Visualization. *IEEE Access.* 2019; 7: 70733–70741. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2919451
16. Dremine V.V., Zhrebtsov E.A., Popov A.P., Meglinski I.V., Bykov A.V. Hyperspectral imaging of diabetes mellitus skin complications. *In Biomedical Photonics for Diabetes Research.* 2022; 177–195.
17. Dremine V.V., Marcinkevics Z., Zhrebtsov E.A., Popov A.P., Grabovskis A., Kronberga H., Geldnere K., Doronin A.A., Meglinski I.V., Bykov A.V. Skin complications of diabetes mellitus revealed by polarized hyperspectral imaging and machine learning. *IEEE Transactions on Medical Imaging.* 2021; 40 (4): 1207–1216. DOI: 10.1109/TMI.2021.3049591
18. Zhrebtsov E.A., Dremine V.V., Popov A.P., Doronin A.A., Kurakina D., Kirillin M., Meglinski I.V., Bykov A.V. Hyperspectral imaging of human skin aided by artificial neural networks. *Biomedical optics express.* 2019; 10 (7): 3545–3559.
19. Zimmermann A. The role of intraoperative hyperspectral imaging (HSI) in colon interposition after esophagectomy. *BMC surgery.* 2023; 2 (23): 47. DOI: 10.1186/s12893-023-01946-3
20. Potapova E.V., Dremine V.V., Zhrebtsov E.A., Makovik I.N., Zhrebtsova A.I., Dunaev A.V., Muradyan V.F. Evaluation of microcirculatory disturbances in patients with rheumatic diseases by the method of diffuse reflectance spectroscopy. *Hum Physiol.* 2017; 43: 222–228. DOI: 10.1134/S036211971702013X
21. Bertacco A., Dehner C.A., Caturegli G., D'Amico F., Morotti R., Rodriguez M.I., Mulligan D.C., Krieger M.A., Geibel J.P. Modulation of Intestinal Microbiome Prevents Intestinal Ischemic Injury. *Front. Physiol.* 2017; 8: 1064. DOI: 10.3389/fphys.2017.01064
22. Canceco J., Winokur E.J. Mesenteric Ischemia: Concepts of Care for the Bedside Nurse. *Gastroenterol Nurs.* 2018; 41 (4): 305–311. DOI: 10.1097/SGA.0000000000000329
23. Zhrebtsov E.A., Dremine V.V., Popov A.P., Doronin A.A., Kurakina D., Kirillin M., Bykov A.V. Hyperspectral imaging of human skin aided by artificial neural networks. *Biomedical optics express.* 2019; 10 (7): 3545–3559.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Сведения об авторах

Адаменков Никита Алексеевич – врач-хирург хирургического отделения БУЗ Орловской области «Орловская областная клиническая больница»; аспирант кафедры специализированных хирургических дисциплин медицинского института ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»; e-mail: nikita-ad@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0238-2941>

Мамошин Андриан Валерьевич – доктор медицинских наук, доцент, старший научный сотрудник отделения абдоминальной хирургии отдела торакоабдоминальной онкологии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского»; профессор кафедры специализированных хирургических дисциплин медицинского института, старший научный сотрудник научно-технологического центра биомедицинской фотоники ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»; e-mail: dr.mamoshin@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1787-5156>

Дрёмин Виктор Владимирович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-технологического центра биомедицинской фотоники, доцент кафедры приборостроения, метрологии и сертификации ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»; e-mail: dremin_viktor@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6974-3505>

Потапова Елена Владимировна – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-технологического центра биомедицинской фотоники, доцент кафедры приборостроения, метрологии и сертификации ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»; e-mail: potapova_ev_ogu@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9227-6308>

Шуплетов Валерий Витальевич – стажер-исследователь научно-технологического центра биомедицинской фотоники, аспирант кафедры приборостроения, метрологии и сертификации ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»; e-mail: valery.shupletsov@bmecenter.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0024-8518>

Горюнов Илья Андреевич – лаборант лаборатории клеточной физиологии и патологии научно-технологического центра биомедицинской фотоники, магистрант кафедры приборостроения, метрологии и сертификации ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»; e-mail: goryunow.il@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6258-545X>

Аладов Андрей Вальменович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-технологического центра микроэлектроники и субмикронных гетероструктур Российской академии наук; e-mail: aladov@mail.ioffe.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8009-7647>

Черняков Антон Евгеньевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ФГБУН «Научно-технологический центр микроэлектроники и субмикронных гетероструктур Российской академии

наук»; e-mail: chernyakov.anton@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8153-9512>

Дунаев Андрей Валерьевич – доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-технологического центра биомедицинской фотоники, профессор кафедры приборостроения, метрологии и сертификации ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»; e-mail: dunaev@bmecenter.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4431-6288>

Information about the authors:

Nikita A. Adamenkov – surgeon of the surgical department, Orel Regional Clinical Hospital; post-graduate student of the Department of Specialized Surgical Disciplines, Medical Institute of Orel State University; e-mail: nikita-ad@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0238-2941>

Andrian V. Mamoshin – Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, senior researcher at the department of abdominal surgery in National Medical Research Center of Surgery named after A.V. Vishnevsky; Professor of the department of specialized surgical disciplines, Medical Institute; senior researcher at Research and Development Center of Biomedical Photonics, Orel State University; e-mail: dr.mamoshin@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1787-5156>

Viktor V. Dremin – Cand. Sci. (Tech.), senior researcher at Research and Development Center of Biomedical Photonics; Associate Professor at the department of Instrumentation, Metrology and Certification in the Orel State University; e-mail: dremin_viktor@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6974-3505>

Elena V. Potapova – Cand. Sci. (Tech.), senior researcher at the Research and Development Center of Biomedical Photonics; Associate Professor of Instrumentation, Metrology and Certification Department, Orel State University; e-mail: potapova_ev_ogu@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9227-6308>

Valery V. Shupletsov – research assistant of the Research and Development Center of Biomedical Photonics post-graduate student of Instrumentation, Metrology and Certification Department in Orel State University; e-mail: valery.shupletsov@bmecenter.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0024-8518>

Iliya A. Goryunov – laboratory assistant of Cell Physiology and Pathology Laboratory in the Research and Development Center of Biomedical Photonics; student in the Instrumentation, Metrology and Certification Department of Orel State University; e-mail: goryunow.il@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6258-545X>

Andrey V. Aladov – Cand. Sci. (Tech.), senior researcher at the Scientific and Technological Center for Microelectronics and Submicron Heterostructures of the Russian Academy of Sciences; e-mail: aladov@mail.ioffe.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8009-7647>

Anton E. Chernyakov – Cand. Sci. (Physics & Mathematics), senior researcher at the Scientific and Technological Center for Microelectronics and Submicron Heterostructures of the Russian Academy of Sciences; e-mail: chernyakov.anton@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8153-9512>

Andrey V. Dunaev – Dr. Sci. (Tech.), leading researcher at the Research and Development Center of Biomedical Photonics; Professor at the Instrumentation, Metrology and Certification Department, Orel State University; e-mail: dunaev@bmecenter.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4431-6288>

УДК: 621.378.8:577.125.8

DOI: 10.37895/2071-8004-2024-28-4-18-25

Тип статьи: Оригинальные исследования

ДЛИТЕЛЬНОСТЬ СОХРАНЕНИЯ ГИПОЛИПИДЕМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА КУРСОВОЙ ВНУТРИВЕННОЙ ЛАЗЕРОТЕРАПИИ ПРИ НАРУШЕНИЯХ ЛИПИДНОГО ОБМЕНА

А.А. Ачилов^{1,2}, С.В. Горнов², Д.У. Усмонзода⁴, К.Ф. Бобоев⁶, Л.Н. Ачилова³, М.Д. Пулатова⁵, Р.Д. Мустафаев¹, А.В. Коньков²

¹ ФГБУ «Научно-практический центр лазерной медицины им. О.К. Скобелкина» ФМБА России, Москва, Россия

² ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет», Медицинский институт непрерывного образования, Москва, Россия

³ Филиал 2 ФГБУ «НМИЦ ВМТ им. А.А. Вишневого» МО РФ, Москва, Россия

⁴ ГБУЗ «Диагностический клинический центр № 1 ДЗМ», филиал 3, Москва, Россия

⁵ ГБУЗ «Городская поликлиника № 134 ДЗМ», Москва, Россия

⁶ Институт последипломного образования в сфере здравоохранения Республики Таджикистан, Худжанд, Таджикистан

Резюме

Цель исследования: определение длительности сохранения курсового гипOLIпидемического эффекта внутривенной лазеротерапии у больных ИБС с нарушениями липидного обмена, резистентных к гипOLIпидемической фармакотерапии.

Пациенты и методы. В исследование было включено 40 больных ИБС с нарушением липидного обмена (НЛО), резистентных к гипOLIпидемическим лекарственным препаратам (ГЛП). Больные в зависимости от метода лечения были разделены на 2 сопоставимые группы: 1-я группа (основная – ОГ) – 20 больных, которые получали внутривенное лазерное облучение крови (ВЛОК) на фоне поддерживающей медикаментозной терапии (ПМТ); 2-я группа (контрольная – КГ) – 20 больных, которые получали только ПМТ.

Результаты и обсуждение. Исходно в ОГ и КГ, несмотря на прием ГЛП, выявлены признаки НЛО: повышение уровней общего холестерина (ОХ), холестерина липопротеидов низкой плотности (ХЛПНП), коэффициента атерогенности (КА) и снижение холестерина липопротеидов высокой плотности (ХЛВП) по сравнению с нормой. Различия уровней ОХ, ХЛПВП, ХЛПНП, КА на исходном этапе в ОГ и КГ были статистически недостоверны, т.е. ОГ и КГ по этим показателям исходно были сопоставимы. Результаты исследования показали, что у больных ОГ, которые получали ВЛОК, через 1 и 3 месяца после курсового лечения выявлен достоверный гипOLIпидемический эффект по сравнению с исходными данными: достоверное снижение ОХ на 19,1 и 16,1 % соответственно; достоверное снижение ХЛПНП на 24,1 и 21,8 % соответственно; достоверное снижение КА на 33,7 и 29,1 % соответственно. Через 4 месяца после курсового лечения ВЛОК гипOLIпидемический эффект лазеротерапии достоверно утратился и показатели липидограммы в ОГ приблизились к исходным показателям, кроме общего холестерина. Следовательно, через 4 месяца после курсовой ВЛОК больные нуждаются в повторном курсе лазеротерапии. За весь период наблюдения в КГ по сравнению с исходными данными достоверной положительной динамики не было.

Заключение. У больных ИБС с НЛО, резистентных к ГЛП, ВЛОК способствует коррекции НЛО. Эти положительные сдвиги характеризовались в достоверном снижении уровней ОХ, ХЛПНП, КА и повышении ХЛВП, хотя показатели липидограммы до нормальных или целевых значений не доходили. Положительный эффект сохранялся в течение 3 месяцев после курсового лечения. Начиная с 4-го месяца положительный эффект ВЛОК постепенно утрачивался (кроме уровня общего холестерина), после чего больные нуждались в повторном курсе лазеротерапии. Для достижения полноценного гипOLIпидемического эффекта у данной категории больных необходимо разработать и добавить другие немедикаментозные способы лечения.

Ключевые слова: ишемическая болезнь сердца, нарушение липидного обмена, резистивность к гипOLIпидемической лекарственной терапии, общий холестерин (ОХ), холестерин липопротеидов высокой плотности (ХЛПВП), холестерин липопротеидов низкой плотности (ХЛПНП), внутривенное лазерное облучение крови (ВЛОК)

Для цитирования: Ачилов А.А., Горнов С.В., Усмонзода Д.У., Бобоев К.Ф., Ачилова Л.Н., Пулатова М.Д., Мустафаев Р.Д., Коньков А.В. Длительность сохранения гипOLIпидемического эффекта курсовой внутривенной лазеротерапии при нарушениях липидного обмена. *Лазерная медицина*. 2024; 28(4):18–25. <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2024-28-4-18-25>

Контакты: Ачилов А.А., e-mail: achilovaa@mail.ru

DURATION OF THE HYPOLIPIDEMIC EFFECT AFTER THE COURSE OF INTRAVENOUS LASER THERAPY IN PATIENTS WITH LIPID METABOLISM DISORDERS

Achilov A.A.^{1,2}, Gornov S.V.², Usmonzoda D.U.⁴, Boboev K.F.⁶, Achilova L.N.³, Pulatova M.D.⁵, Mustafaev R.D.¹, Konkov A.V.

¹ Skobelkin Research and Practical Centre for Laser Medicine, FMBA of Russia, Moscow, Russia

² Russian Biotechnological University, Institute of Medical Continuous Education, Moscow, Russia

³ Branch 2 of Vishnevsky National Medical Research Center, Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia

⁴ GBUZ "DCC 1 DZM", branch 3, Moscow, Russia

⁵ GP 134 DZM, Moscow, Russia

⁶ Tajikistan Healthcare Institute of Postgraduate Education, Dushanbe, Tajikistan

Abstract

Purpose: to find the duration of hypolipidemic effect after the course of intravenous laser therapy in patients with coronary artery disease (CAD) and lipid metabolism disorders resistant to hypolipidemic pharmacotherapy.

Patients and methods. 40 patients with CAD and lipid metabolism disorders (LMD) resistant to hypolipidemic drugs were enrolled in the trial. Patients were divided into two comparable groups depending on the curative technique: 20 patients from Group 1 (main group) had intravenous laser blood irradiation (ILBI) and supportive medicamentous therapy (SMT). 20 patients from Group 2 (control group) had only SMT.

Results and discussion. Initially, patients in both groups had LMD signs despite of hypolipidemic drug therapy: elevated levels of total cholesterol (TC), low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C), atherogenic index (AI), and reduced high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C) compared to normal values. Baseline values in both groups were statistically insignificant for TC, HDL-C, LDL-C and AI levels which indicated comparability between the groups. The study results demonstrated that patients in the main lasered group with ILBI course demonstrated much better hypolipidemic effect in 1 and 3 months after the treatment compared to baseline values: significant reduction in TC by 19.1 % and 16.1 %, respectively; significant reduction in LDL-C by 24.1 % and 21.8 %, respectively; significant reduction in AI by 33.7 % and 29.1 %, respectively. Four months after the ILBI course, hypolipidemic effect became significantly less evident, and lipid profile indicators in the main group returned to baseline levels, except for total cholesterol. Therefore, in 4 months after ILBI course, patients require a repeated laser therapy course. The controls throughout the observation period had no significant positive dynamics compared to baseline values.

Conclusion. In patients with CAD and LMD resistant to hypolipidemic drugs, ILBI therapy corrects LMD. It has been demonstrated by the significant reduction in TC, LDL-C, and AI levels, as well as by increased HDL-C level, although lipid profile parameters did not reach their normal or target values. The obtained positive effect persisted for 3 months after the course of laser therapy. After that, ILBI positive effect gradually went down, except the total cholesterol. That is why, in four months patients require a repeat course of laser therapy. To achieve a full hypolipidemic effect in this category of patient, it is necessary to develop and incorporate other non-drug curative techniques.

Keywords: ischemic heart disease, lipid metabolism disorders, resistance to hypolipidemic pharmacotherapy, total cholesterol, high-density lipoprotein cholesterol, low-density lipoprotein cholesterol, triglycerides, low-level laser therapy

For citation: Achilov A.A., Gornov S.V., Usmonzoda D.U., Boboev K.F., Achilova L.N., Pulatova M.D., Mustafaev R.D., Konkov A.V. Duration of the hypolipidemic effect after the course of intravenous laser therapy in patients with lipid metabolism disorders. *Laser Medicine*. 2024; 28(4):18–25. [In Russ.]. <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2024-28-4-18-25>

Contacts: Achilov A.A., e-mail: achilovaa@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что в течение многих десятилетий сердечно-сосудистая патология остается важнейшей проблемой всего человечества. По заболеваемости и смертности болезни системы кровообращения во всем мире занимают первое место, составляя более половины заболеваемости населения. В настоящее время в лечении больных ишемической болезнью сердца (ИБС) наряду с лекарственными препаратами широко используются хирургические технологии: стентирование и аортокоронарное шунтирование. Все эти методы лечения оказывают положительный эффект до определенного времени, затем эффект постепенно утрачивается вследствие прогрессирования атеросклероза и ИБС [1–3].

В патогенезе развития атеросклероза и ИБС важное место занимает нарушение обмена холестерина и его фракций. В настоящее время для коррекции нарушений липидного обмена первостепенное значение дается лекарственной терапии. В последние годы достигнуты значительные успехи в области ФТ нарушений липидного обмена (НЛО) у больных ИБС. При этом лекарственная коррекция гиперхолестеринемии и дислипидемии (ДЛПД) в большинстве случаев способствует достижению целевого уровня снижения общего холестерина (ХС) и его атерогенных фракций [4–15]. Известно, что в комплексной терапии атеросклероза и ИБС гиполипидемические лекарственные препараты (ГЛП) назначаются на длительный прием под контролем и наблюдением лечащих врачей. Однако длительное применение ГЛП может вызывать побочные эффекты в виде поражения клеток

печени (повышение уровня трансаминаз: АЛТ и АСТ). Кроме того, наблюдается развитие миопатии, миалгии, диарея, тошнота, неприятные ощущения в области печени, запоры, бессонница, головные боли и т.д. [16]. При этом попытка уменьшения дозы ГЛП ведет к повышению уровня ХС и его атерогенных фракций. Следовательно, в практической медицине наблюдаются больные ИБС с НЛО, резистентные к ГЛП, у которых прием оптимальных доз ГЛП не приводит к снижению уровня ХС и его фракций до целевого уровня [16–19].

Вышеизложенное наводит на мысль, что в комплексной терапии больных ИБС с повышением уровня ХС и его атерогенных фракций наряду с лекарственной терапией нужно использовать другие немедикаментозные способы лечения, способствующие оптимальной коррекции вышеописанных нарушений. В частности, одним из таких методов лечения является низкоэнергетическая лазеротерапия.

Следует отметить, что из всех существующих физиотерапевтических процедур для лечения атеросклероза и ИБС наиболее широкое показание имеет низкоэнергетическая лазеротерапия, в то время как другие физиотерапевтические процедуры часто противопоказаны.

В настоящее время лазер широко используется во всех областях медицины как для диагностики, так и для лечения больных хирургического профиля [20–25] (в хирургии, урологии, гинекологии, онкологии, даже с применением фотодинамической терапии и т.д.), а также в лечении больных терапевтического профиля [26–33] (терапия, пульмонология, кардиология, болезней органов пищеварения, нефрология,

неврология, артрология и т.д.) с учетом показаний и противопоказаний.

В ранее выполненных исследованиях при лечении атеросклероза и ИБС с НЛО основное внимание уделялась клиническому эффекту лазеротерапии и механизму ее положительного эффекта на фоне курсового лечения. Однако длительности сохранения гиполипидемического эффекта курсовой лазеротерапии у больных ИБС с нарушением липидного обмена (НЛО) в доступной нам литературе не нашли. Поэтому предлагаемая статья будет посвящена длительности сохранения гиполипидемического эффекта внутривенной лазеротерапии у больных ИБС с НЛО, резистентных ГЛП. Настоящая проблема имеет важное значение для определения оптимальных сроков проведения повторных курсов внутривенной лазеротерапии у больных ИБС с НЛО, резистентных к ГЛП.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

В исследование было включено 40 больных ИБС со стабильной стенокардией напряжения II ФК и с НЛО, резистентных к ГЛП. Все больные были работоспособного возраста (преимущественно от 40 до 58 лет), из них мужчин 96,6 % и женщин – 3,4 %, с длительностью заболевания преимущественно от 2 до 6 лет. Распределение больных ИБС с НЛО, резистентных к ГЛП по полу, возрасту в основной и контрольной группе приведены в табл. 1.

Все больные в зависимости от метода лечения рандомно были разделены на 2 сопоставимые по клинико-функциональным характеристикам и поддерживающей фармакотерапии (ФТ) группы: 1-я группа (основная) – 20 больных, которые получали внутривенное лазерное облучение крови (ВЛОК) на фоне поддерживающей лекарственной терапии; 2-я группа (контрольная) – 20 больных, которые получали только поддерживающую лекарственную терапию.

Перед началом лечения больным проводилось лабораторное обследование, включающее развернутый анализ липидного спектра – уровень общего холестерина (ХС), холестерина липопротеидов низкой плотности (ХЛПНП), высокой плотности (ХЛВП). Расчетным путем определялся коэффициент атерогенности (КА).

ВЛОК проводили на отечественном аппарате лазерной терапии АЛТ «Мустанг-2000» ООО «Научно-производственный лазерный центр – НПЛЦ «Техника», Россия. Для ВЛОК использовали полупроводниковую красную лазерную излучающую головку с длиной волны 0,63 мкм, мощность излучения на выходе световода 2 мВт. Общий курс лечения состоял из 10 процедур ВЛОК с экспозицией 20 минут. Лазерные процедуры проводились через день из расчета 3 процедуры в неделю.

Полученные в процессе исследования количественные показатели подвергнуты статистической обработке на персональном компьютере с помощью программ Microsoft Excel, SPSS Statistics. Определяли значения среднего арифметического (*M*), стандартного отклонения (*δ*), а также ошибку среднего арифметического (*m*). Достоверность различий полученных данных в разных группах больных и в процессе лечения оценивали при помощи *t*-критериев Стьюдента. За достоверные принимали отличия при *p* < 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На исходном этапе в основной и контрольной группах, несмотря на прием ГЛП, выявлены признаки нарушения липидного обмена: повышение уровня общего холестерина, повышение уровня ХЛПНП и снижение уровня ХЛВП, повышение КА по сравнению с нормой (табл. 2). Сравнительная оценка исходных показателей липидного спектра крови у больных основной и контрольной группы показали, что различие уровней общего холестерина, ХЛПВП, ХЛПНП, коэффициента

Распределение больных ИБС с нарушениями липидного обмена, резистентных к гиполипидемической лекарственной терапии по полу, возрасту в основной и контрольной группе

Table 1

	Группы больных Groups			
	Основная группа (1-я гр.) Main group (Group 1)		Контрольная группа (2-я гр.) Control group (group 2)	
	Абсолютное количество Absolute number	%	Абсолютное количество Absolute number	%
Мужчины Males	19	96,6	19	96,6
Женщины Females	1	3,4	1	3,4
Всего Total	20	100	20	100
Средний возраст Average age	54,6 ± 1,8		53,8 ± 1,6	

Таблица 2

Исходные показатели липидограммы у здоровых, больных ИБС с нарушениями липидного обмена, рефрактерных к гиполипидемической лекарственной терапии основной и контрольной групп ($M \pm m$)

Table 2

Baseline lipidogram values in healthy patients with coronary artery disease and lipid metabolism disorders, refractory to lipid-lowering drug therapy in the main and control groups ($M \pm m$)

Показатели Indices	Здоровые Healthy	Исходные данные основной группы Basic values in main group	Исходные данные контрольной группы Basic values in controls	p_2
ОХ, мМоль/л TC, mMol/L	5,31 \pm 0,11	8,06 \pm 0,11**	8,01 \pm 0,10**	Нд
ХЛПВП, мМоль/л HDL-C, mMol/L	1,77 \pm 0,07	1,10 \pm 0,05**	1,15 \pm 0,05**	Нд
ХЛПНП, мМоль/л LDL-C, mMol/L	2,17 \pm 0,33	5,51 \pm 0,13**	5,25 \pm 0,14**	Нд
КА AI	1,44 \pm 0,22	6,47 \pm 0,31**	6,38 \pm 0,39**	Нд

Примечание: ** – $p_1 < 0,01$ – достоверность различий исходных показателей основной и контрольной групп по сравнению с нормой; p_2 – Нд – различие исходных показателей основной и контрольной групп недостоверны; ОХ – общий холестерин, мМоль/л; ХЛПВП – холестерин липопротеидов высокой плотности, мМоль/л; ХЛПНП – холестерин липопротеидов низкой плотности, мМоль/л; КА – коэффициент атерогенности.

Note: ** – $p_1 < 0.01$ – visibility of recorded isonoid production and controlgroups above high with the norm; p_2 – Нд – the difference in the initial indicators of the main and control groups is not reliable; TC – total cholesterol, mMol/L; HDL-C – high-density lipoprotein cholesterol, mMol/L; LDL-C – low-density lipoprotein cholesterol, mMol/L; AI – atherogenic coefficient.

атерогенности были статистически недостоверны. Следовательно, основная и контрольная группы по этим показателям исходно были сопоставимы (табл. 2).

Считается, что длительное повышение содержания атерогенных липидов в крови способствует прогрессированию атеросклеротического поражения сосудов, а снижение может тормозить развитие атеросклеротического процесса, улучшать течение и прогноз заболевания. Таким образом, обследованные больные основной и контрольной группы имели достоверные НЛО, резистентные к гиполипидемической лекарственной терапии.

Результаты динамического наблюдения показали, что у больных ОГ, которые получали ВЛОК через 1 и 3 месяца после курсового лечения выявлен достоверный гиполипидемический эффект от лазеротерапии (табл. 3). В этой группе отмечено достоверное снижение ОХ на 19,1 и 16,1 % соответственно через 1 и 3 месяца после курсовой внутривенной лазеротерапии по сравнению с исходными данными. Однонаправленные изменения были обнаружены в отношении ХЛНП и КА. Так ХЛНП через 1 месяц достоверно снижался на 24,1 и 21,8 % через 3 месяца после курсовой внутривенной лазеротерапии. КА в основной группе через 1 месяц достоверно снижалась на 33,7 % и через 3 месяца на 29,1 % по сравнению с исходными данными.

Через 4 месяца после курсового лечения ВЛОК гиполипидемический эффект лазеротерапии достоверно утрачивался и показатели липидограммы в ОГ приближались к исходным показателям, кроме общего холестерина. Результаты лечения свидетельствуют о том, что через 4 месяца после курсового ВЛОК, больные нуждаются в повторном курсе лазеротерапии.

Следует отметить, что за весь период наблюдения в КГ по сравнению с исходными данными достоверной положительной динамики не отмечалась (табл. 3).

Таким образом, ВЛОК оказывает достоверный гиполипидемический эффект в течение 3 месяцев после курсовой лазеротерапии. Начиная с 4-го месяца гиполипидемический эффект ВЛОК постепенно утрачивается. Следовательно, через 4 месяца после курса лазеротерапии больные нуждаются в повторном курсе ВЛОК.

Положительный гиполипидемический эффект лазеротерапии у больных с НЛО наводит на мысль, что при атеросклерозе и ИБС на клеточно-тканевом и микроциркуляторном уровне имеются такие виды нарушения, которые не устраняются медикаментозной терапией. Известно, что при атеросклерозе и ИБС нарушение микроциркуляции имеет системный характер [34]. При этом ВЛОК в чаще используется для коррекции системных нарушений.

Следует отметить, что у больных ИБС с НЛО, резистивных к гиполипидемической фармакотерапии, ВЛОК оказывает достоверный гиполипидемический эффект, однако показатели липидограммы никогда до нормальных или целевых значений не снижаются. Следовательно, в перспективе нужно разработать и добавить другие более эффективные методы лечения, способствующие оптимизации и коррекции НЛО до нормальных или целевых значений. В этом отношении перспективным является сочетание комбинированной лазеротерапии с разгрузочной лечебной гимнастикой, о чем мы будем сообщать в дальнейших публикациях. Следовательно, лазеротерапия должна использоваться как один из вариантов патогенетической терапии.

Таблица 3

Динамика липидограммы у больных основной и контрольной групп на разных этапах наблюдения ($M \pm m$)

Table 3

Dynamics of lipidograms in patients of the main and control groups at different follow-up stages ($M \pm m$)

Показатели липидограммы основной группы на разных этапах наблюдения Lipidogram indices in the mail group at different follow-up stages				
Показатели Indices	Исходные данные Basic values	Через 1 месяц после лазеротерапии In one month after laser therapy	Через 3 месяца после лазеротерапии In three months after laser therapy	Через 4 месяца после лазеротерапии In four months after laser therapy
ОХ TC	8,06 ± 0,11	6,52 ± 0,15***	6,76 ± 0,13***	7,57 ± 0,14**
ХЛВП HDL–C	1,10 ± 0,05	1,26 ± 0,05*	1,25 ± 0,05*	1,11 ± 0,04
ХЛНП LDL–C	5,51 ± 0,13	4,18 ± 0,21***	4,31 ± 0,16***	5,22 ± 0,15
КА AI	6,47 ± 0,31	4,29 ± 0,21***	4,59 ± 0,20***	6,00 ± 0,26
Показатели липидограммы контрольной группы на разных этапах наблюдения Lipidogram indices in the control group at different follow-up stages				
Показатели Indices	Исходные данные Basic values	Через 1 месяц после лазеротерапии In one month after laser therapy	Через 3 месяца после лазеротерапии In three months after laser therapy	Через 4 месяца после лазеротерапии In four months after laser therapy
ОХ TC	8,01 ± 0,10	7,78 ± 0,11	7,83 ± 0,11	7,87 ± 0,11
ХЛВП HDL–C	1,15 ± 0,05	1,28 ± 0,06	1,19 ± 0,06	1,25 ± 0,05
ХЛНП LDL–C	5,25 ± 0,14	5,16 ± 0,14	5,24 ± 0,13	5,21 ± 0,12
КА AI	6,38 ± 0,39	5,44 ± 0,36	5,96 ± 0,36	5,58 ± 0,34

Примечание: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ – достоверность различий по сравнению с исходными данными.

Note: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ – reliability of differences comparing to the basic values.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Следует отметить, что к механизмам положительного эффекта лазеротерапии в медицине и в кардиологии посвящено сотни работ. При лечении сердечно-сосудистой патологии и нарушений холестеринового обмена особое место занимает ВЛОК, так как чаще используется для коррекции системных нарушений.

Наши наблюдения и результаты проведенного исследования показали, что внутривенная лазеротерапия при курсовом лечении больных с нарушениями обмена холестерина и его фракций достоверно оказывает положительный эффект. Эти полученные результаты согласуются с другими опубликованными исследованиями. Однако о длительности сохранения гиполипидемического эффекта лазеротерапии в доступной нам литературе не нашли, особенно у больных с НЛО, резистентных к медикаментозной терапии.

В заключение следует отметить, что у больных ИБС с НЛО, резистентных к гиполипидемической лекарственной терапии, ВЛОК способствует коррекции нарушений липидного обмена. Эти положительные сдвиги характеризуются в достоверном снижении уровня ОХ, ХЛНП, КА и повышении уровня ХЛВП, хотя показатели липидограммы до нормальных или целевых значений не доходят. Последнее требует, что для достижения полноценного гиполипидемического эффекта у данной категории больных необходимо разработать и добавить другие немедикаментозные способы лечения.

Проведенное исследование показало, что положительный гиполипидемический эффект сохраняется в течение 3 месяцев после курсового лечения. Начиная с 4-го месяца положительный гиполипидемический эффект ВЛОК постепенно утрачивается, кроме общего холестерина, после чего больные нуждаются в повторном курсе лазеротерапии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ачилов А.А., Баранов А.В., Ачилова Ш.А., Лебедева О.Д., Корнев А.И., Айрапетова Т.Л. Оптимизация комплексного лечения больных с тяжелой степенью артериальной гипертензии. *Клиническая геронтология*. 2021; 27 (1–2): 76–83.
2. Стрельцова Н.Н., Васильева А.П. Механизм и кинетика формирования антиангинального эффекта лазерной терапии у пациентов со стенокардией. *Лазерная медицина*. 2023; 27 (2): 16–21. DOI: 10.37895/2071-8004-2023-27-2-16-21
3. Оганов Р.Г. Значение эпидемиологических исследований и доказательной медицины для клинической практики. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2015; 14 (4): 4–7.
4. Карпов Ю.А. Как реализовать курс на усиление контроля холестерина липопротеидов низкой плотности в снижении сердечно-сосудистого риска? *Атмосфера. Новости кардиологии*. 2021; 1: 3–12.
5. Карпов Ю.А. Эффективность и безопасность достижения новых низких целевых уровней холестерина липопротеидов низкой плотности: роль комбинированной терапии. *Атмосфера. Новости кардиологии*. 2021; 2: 3–11.

6. Карпов Ю.А., Барбараш О.Л., Боцко А.А., Кашталап В.В., Кухарчук В.В. и др. Евразийские клинические рекомендации по диагностике и лечению стабильной ишемической болезни сердца (2020–2021). *Евразийский кардиологический журнал*. 2021; 3 (36): 54–93.
7. Giugliano R.P., Pedersen T.R., Park J.G., et al. Clinical efficacy and safety of achieving very low LDL-cholesterol concentrations with the PCSK9 inhibitor evolocumab: a prespecified secondary analysis of the FOURIER trial. *The Lancet*. 2017; 390(10106): 1962–1971. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)32290-0
8. Bhatt D.L., Steg P.G., Miller M., et al. Cardiovascular risk reduction with icosapent ethyl for hypertriglyceridemia. *New England Journal of Medicine*. 2019; 380(1): 11–22. DOI: 10.1056/NEJMoa1812792
9. Cholesterol Treatment Trialists' Collaboration. Efficacy and safety of statin therapy in older people: a meta-analysis of individual participant data from 28 randomised controlled trials. *The Lancet*. 2019; 393 (10170): 407–415. DOI: 10.1016/S0140-6736(18)31942-1
10. Rohit D., Shankar J. Comparative Study of Atorvastatin and Rosuvastatin in Combination with Fenofibrate in mixed Hyperlipidemia. *Int J Pharmacol and Clin Sci*. 2016; 5 (1): 25–31.
11. Lee J., Egolom U., Parihar H., et al. Effect of Ezetimibe Added to High-Intensity Statin Therapy on Low-Density Lipoprotein Cholesterol Levels: A Meta-Analysis. *Cardiol Res*. 2021; 12 (2): 98–108. DOI: 10.14740/cr1224
12. Ray K.K., Reeskamp L.F., Laufs U., et al. Combination lipid-lowering therapy as first-line strategy in very high-risk patients. *Eur Heart J*. 2022; 43 (8): 830–833. DOI: 10.1093/eurheartj/ehab718
13. Burnett H., Fahrback K., Cichewicz A., et al. Comparative efficacy of non-statin lipidlowering therapies in patients with hypercholesterolemia at increased cardiovascular risk: a network meta-analysis. *Curr Med Res Opin*. 2022; 38 (5): 777–784. DOI: 10.1080/03007995.2022.2049164
14. Khan S.A., Naz A., Qamar Masood M., Shah R. Meta-Analysis of Inclisiran for the Treatment of Hypercholesterolemia. *Am J Cardiol*. 2020; 134: 69–73. DOI: 10.1016/j.amjcard.2020.08.018
15. Lloyd-Jones D.M., Morris P.B., Ballantyne C.M., et al. 2022 ACC Expert Consensus Decision Pathway on the Role of Nonstatin Therapies for LDL-Cholesterol Lowering in the Management of Atherosclerotic Cardiovascular Disease Risk: A Report of the American College of Cardiology Solution Set Oversight Committee. *J Am Coll Cardiol*. 2022; 80 (14): 1366–1418. DOI: 10.1016/j.jacc.2022.07.006
16. Кухарчук В.В., Ежов М.В., Сергиенко И.В., Арабидзе Г.Г., Бубнова М.Г. и др. Диагностика и коррекция нарушений липидного обмена с целью профилактики и лечения атеросклероза. российские рекомендации, VII пересмотр. *Атеросклероз и дислипидемии*. 2020; 1 (38): 7–40.
17. Moriarty P.M., Thompson P.D., Cannon C.P., et al. Efficacy and safety of alirocumab vs ezetimibe in statin-intolerant patients, with a statin rechallenge arm: the ODYSSEY ALTERNATIVE randomized trial. *Journal of clinical lipidology*. 2015; 9 (6): 758–769. DOI: 10.1016/j.jacl.2015.08.006
18. Nissen S.E., Stroes E., Dent-Acosta R.E., et al. Efficacy and tolerability of evolocumab vs ezetimibe in patients with muscle-related statin intolerance: the GAUSS-3 randomized clinical trial. *Jama*. 2016; 315 (15): 1580–1590. DOI: 10.1001/jama.2016.3608
19. Schreml J., Gouni-Berthold I. Role of anti-PCSK9 antibodies in the treatment of patients with statin intolerance. *Current medicinal chemistry*. 2018; 25 (13): 1538–1548. DOI: 10.2174/0929867324666170616111647
20. Баранов А.В., Цыганова Г.И., Пименова Л.Я., Картусова Л.Н. Состояние научных исследований в области фотодинамической терапии в Российской Федерации в 2016–2017 гг. *Лазерная медицина*. 2018; 22 (3): 44–49.
21. Соловьева А.Б., Спокойный А.Л., Руденко Т.Г., Шехтер А.Б., Глаголев Н.Н., Аксенова Н.А., Баранов А.В. Влияние водорастворимых полимеров на активность фотодитазина при фотодинамической терапии гнойных ран мягких тканей в эксперименте. *Клиническая практика*. 2016; 2 (26): 45–49.
22. Гусейнов А.И., Баранов А.В., Раджабов А.А., Дербенев В.А., Карандашов В.И., Александрова Н.П. Фотодинамическая терапия при перипротезной инфекции суставов. *Лазерная медицина*. 2021; 25 (1): 9–15.
23. Баранов А.В., Шастина В.Р., Горин С.Г., Гусейнов А.И., Дербенев В.А., Канаев А.С., Карандашов В.И., Мустафеев Р.Д., Раджабов А.А. способ лечения больных перипротезной инфекцией после эндопротезирования сустава. Патент на изобретение RU 2712806 C1, 31.01.2020. Заявка № 2019115302 от 20.05.2019.
24. Странадко Е.Ф., Баранов А.В., Дуванский В.А., Лобачев А.И., Морохотов В.А., Рябов М.В. Фотодинамическая терапия рака большого дуоденального сосочка и внепеченочных желчных протоков. *Biomedical Photonics*. 2020; 9 (2): 18–28.
25. Алексеев Ю.В., Ширяев В.С., Баранов А.В., Хосровян А.М., Бабушкин В.Ю. Применение продуктов фотолиза фотосенсибилизатора хлоринового ряда для лечения внутрибольничных пневмоний. *Лазерная медицина*. 2023; 27 (1): 16–22. DOI: 10.37895/2071-8004-2023-27-1-18-22
26. Ветрова З.Д., Ачилов А.А., Фомичев В.И., Елисеенко В.И. Применение озонотерапии, альфа-фетопротеина и низкоинтенсивного лазерного излучения в лечении больных ИБС с сопутствующей гипертонической болезнью. *Лазерная медицина*. 2012; 4: 33–37.
27. Ачилов А.А., Баранов А.В., Ачилова Ш.А., Карандашов В.И., Гладыко О.В. Применение низкоэнергетической лазеротерапии и разгрузочной лечебной гимнастики в комплексном лечении тяжелой степени артериальной гипертонии. *Лазерная медицина*. 2018; 22 (4): 6–10.
28. Шагин М.В., Яриков А.В., Павлов С.С., Соколов А.А. Применение лазеротерапии в комплексном лечении больных с компрессионно-ишемической невропатией. *Лазерная медицина*. 2021; 25 (1): 36–44. DOI: 10.37895/2071-8004-2021-25-1-36-44
29. Луценко Ю.Г., Гринцов А.Г., Матийцев А.Б. Эффективность применения лазеротерапии у больных диабетической стопой. *Лазерная медицина*. 2022; 26 (3–4): 26–31. DOI: 10.37895/2071-8004-2022-26-3-4-26-31
30. Лазарева Е.Н., Макашова В.В., Осипова Е.Г. Применение лазерной терапии при остеоартрите (обзор литературы). *Лазерная медицина*. 2023; 27 (1): 46–52. DOI: 10.37895/2071-8004-2023-27-1-46-52

31. Горчак Ю.Ю., Генс Г.П., Праздников Э.Н. [и др.]. Возможности низкоинтенсивного лазерного излучения в реабилитационно-восстановительном лечении онкологических больных. *Лазерная медицина*. 2021; 25 (3): 47–58. DOI: 10.37895/2071-8004-2021-25-3-47-58
32. Рязанцев В.Е., Власов А.П., Машнин И. В. Применение низкоинтенсивного лазерного излучения в комплексном лечении острого почечного повреждения. *Лазерная медицина*. 2020; 24 (4): 18–23. DOI: 10.37895/2071-8004-2020-24-4-19-23
33. Ачилов А.А., Алмазов И.И., Куликова Т.В., Борисова Г.А., Сидоренко Б.А. Состояние микроциркуляторного русла, гемоперфузии и кислородного режима ткани у больных ишемической болезнью сердца со стенокардией. *Тер. Архив*. 1984; 6: 39–43.

REFERENCES

1. Achilov A.A., Baranov A.V., Achilova Sh.A., Lebedeva O.D., Kornev A.I., Airapetova T.L. Optimization of complex treatment of patients with severe arterial hypertension. *Klinicheskaya gerontologia*. 2021; 27 (1–2): 76–83 (In Russ.).
2. Streltsova N.N., Vasilyeva A.P. The mechanism and kinetics of the formation of the antianginal effect of laser therapy in patients with angina. *Laser Medicine*. 2023; 27 (2): 16–21. (In Russ.). DOI: 10.37895/2071-8004-2023-27-2-16-21
3. Oganov R.G. The importance of epidemiological studies and evidence-based medicine for clinical practice. *Kardiovaskuliarnaya terapiya i praktika*. 2015; 14 (4): 4–7 (In Russ.).
4. Karpov Yu.A. How to implement a course for strengthening the control of low-density lipoprotein cholesterol in reducing cardiovascular risks? *Atmosfera. Novosti kardiologii*. 202; 1: 3–12 (In Russ.).
5. Karpov Yu.A. Efficiency and safety in achieving new low target levels of low-density lipoprotein cholesterol: the role of combination therapy. *Atmosfera. Novosti kardiologii*. 2021; 2: 3–11 (In Russ.).
6. Karpov Yu.A., Barbarash O.L., Boschenko A.A., Kashtalap V.V., Kukharchuk V.V., etc. Eurasian clinical guidelines for diagnostics and treatment of stable coronary heart disease (2020–2021). *Eurasijskiy kardiologicheskij zhurnal*. 2021; 3 (36): 54–93 (In Russ.).
7. Giugliano R.P., Pedersen T.R., Park J.G., etc. Clinical efficacy and safety of achieving very low LDL cholesterol concentrations with the PCSK9 inhibitor in evolocumab: a pre-determined secondary analysis of the FOURIER study. *The Lancet*. 2017; 390 (10106): 1962–1971. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)32290-0
8. Bhatt D.L., Steg P.G., Miller M. et al. Reduction of cardiovascular risk with icosapent ethyl in hypertriglyceridemia. *New England Journal of Medicine*. 2019; 380 (1): 11–22. DOI: 0.1056/NEJMoa1812792
9. Collaboration of researchers in the field of cholesterol treatment. Efficacy and safety of statin therapy in the elderly: a meta-analysis of data from individual participants in 28 randomized controlled trials. *The Lancet*. 2019; 393 (10170): 407–415. DOI: 10.1016/S0140-6736(18)31942-1
10. Rohit D., Shankar J. Comparative study of atorvastatin and rosuvastatin in combination with fenofibrate in mixed hyperlipidemia. *International Institute of Pharmacology and Clinical Science*. 2016; 5 (1): 25–31.
11. Lee J., Egolom U., Parihar H., et al. Effect of Ezetimibe Added to High-Intensity Statin Therapy on Low-Density Lipoprotein Cholesterol Levels: A Meta-Analysis. *Cardiol Res*. 2021; 12 (2): 98–108. DOI: 10.14740/cr1224
12. Ray K.K., Reeskamp L.F., Laufs U., et al. Combination lipid-lowering therapy as first-line strategy in very high-risk patients. *Eur Heart J*. 2022; 43 (8): 830–833. DOI: 10.1093/eurheartj/ehab718
13. Burnett H., Fahrbach K., Cichewicz A., et al. Comparative efficacy of non-statin lipidlowering therapies in patients with hypercholesterolemia at increased cardiovascular risk: a network meta-analysis. *Curr Med Res Opin*. 2022; 38 (5): 777–784. DOI: 10.1080/03007799.5.2022.2049164
14. Khan S.A., Naz A., Qamar Masood M., Shah R. Meta-Analysis of Inclisiran for the Treatment of Hypercholesterolemia. *Am J Cardiol*. 2020; 134: 69–73. DOI: 10.1016/j.amjcard.2020.08.018
15. Lloyd-Jones D.M., Morris P.B., Ballantyne C.M., et al. 2022 ACC Expert Consensus Decision Pathway on the Role of Nonstatin Therapies for LDL-Cholesterol Lowering in the Management of Atherosclerotic Cardiovascular Disease Risk: A Report of the American College of Cardiology Solution Set Oversight Committee. *J Am Coll Cardiol*. 2022; 80 (14): 1366–1418. DOI: 10.1016/j.jacc.2022.07.006
16. Kukharchuk V.V., Yezhov M.V., Sergiyenko I.V., Arabidze G.G., Bubnova M.G. et al. Diagnosis and correction of lipid metabolism disorders for the prevention and treatment of atherosclerosis. Russian recommendations, VII revision. *Atherosclerosis i dyslipidemia*. 2020; 1 (38): 7–40 (In Russ.).
17. Moriarty P.M., Thompson P.D., Cannon C.P., et al. Efficacy and safety of alirocumab vs ezetimibe in statin-intolerant patients, with a statin rechallenge arm: the ODYSSEY ALTERNATIVE randomized trial. *Journal of clinical lipidology*. 2015; 9 (6): 758–769. DOI: 10.1016/j.jacl.2015.08.006
18. Nissen S.E., Stroes E., Dent-Acosta R.E., et al. Efficacy and tolerability of evolocumab vs ezetimibe in patients with muscle-related statin intolerance: the GAUSS-3 randomized clinical trial. *Jama*. 2016; 315 (15): 1580–1590. DOI: 10.1001/jama.2016.3608
19. Schreml J., Gouni-Berthold I. Role of anti-PCSK9 antibodies in the treatment of patients with statin intolerance. *Current medicinal chemistry*. 2018; 25 (13): 1538–1548. DOI: 10.2174/0929867324666170616111647
20. Baranov A.V., Tsyganova G.I., Pimenova L.Ya., Kartusova L.N. The state of scientific research in the field of photodynamic therapy in the Russian Federation in 2016–2017. *Laser medicine*. 2018; 22 (3): 44–49 (In Russ.).
21. Solovyova A.B., Spokoyny A.L., Rudenko T.G., Shekhter A.B., Glagolev N.N., Aksenova N.A., Baranov A.V. The influence of water-soluble polymers on the activity of photoditazine during photodynamic therapy of purulent soft tissue wounds in an experiment. *Clinical practice*. 2016; 2 (26): 45–49 (In Russ.).
22. Guseinov A.I., Baranov A.V., Radzhabov A.A., Derbenev V.A., Karandashov V.I., Aleksandrova N.P. Photodynamic therapy for periprosthetic joint infection. *Laser medicine*. 2021; 25 (1): 9–15 (In Russ.).
23. Baranov A.V., Shastina V.R., Gorin S.G., Guseinov A.I., Derbenev V.A., Kanaev A.S., Karandashov V.I., Mustafaev R.D.,

- Radzhabov A.A. method of treating patients with periprosthetic infection after joint replacement. Patent for invention RU 2712806 C1, 01/31/2020. Application No. 2019115302 dated 05/20/2019.
24. Strnadko E.F., Baranov A.V., Duvansky V.A., Lobakov A.I., Morokhotov V.A., Ryabov M.V. Photodynamic therapy for cancer of the major duodenal papilla and extrahepatic bile ducts. *Biomedical Photonics*. 2020; 9 (2): 18–28 (In Russ.).
 25. Alekseev Yu.V., Shiryayev V.S., Baranov A.V., Khosrovyan A.M., Babushkin V.Yu. Application of photolysis products of a chlorine series photosensitizer for the treatment of hospital-acquired pneumonia. *Laser Medicine*. 2023; 27 (1): 16–22 (In Russ.). DOI: 10.37895/2071-8004-2023-27-1-18-22
 26. Vetrova Z.D., Achilov A.A., Fomichev V.I., Eliseenko V.I. The use of ozone therapy, alpha-fetoprotein and low-intensity laser radiation in the treatment of patients with coronary heart disease with concomitant hypertension. *Laser medicine*. 2012; 4: 33–37 (In Russ.).
 27. Achilov A.A., Baranov A.V., Achilova Sh. A., Karandashov V.I., Gladko O.V. Application of low-level laser therapy and unloading therapeutic gymnastics in the complex treatment of severe hypertension. *Lazernaya medicina*. 2018; 22 (4): 6–10 (In Russ.).
 28. Shpagin M.V., Yarikov A.V., Pavlov S.S., Sokolov A.A. The use of laser therapy in the complex treatment of patients with compression-ischemic neuropathy. *Laser medicine*. 2021; 25 (1): 36–44 (In Russ.). DOI: 10.37895/2071-8004-2021-25-1-36-44
 29. Lutsenko Yu.G., Grintsov A.G., Matiytsiv A.B. The effectiveness of laser therapy in patients with diabetic foot. *Laser medicine*. 2022; 26 (3–4): 26–31 (In Russ.). DOI: 10.37895/2071-8004-2022-26-3-4-26-31
 30. Lazareva E.N., Makashova V.V., Osipova E.G. Application of laser therapy for osteoarthritis (literature review). *Laser medicine*. 2023; 27 (1): 46–52 (In Russ.). DOI: 10.37895/2071-8004-2023-27-1-46-52
 31. Gorchak Yu.Yu., Gens G.P., Prazdnikov E.N. et al. Possibilities of low-intensity laser radiation in the rehabilitation treatment of cancer patients. *Laser Medicine*. 2021; 25 (3): 47–58. (In Russ.). DOI: 10.37895/2071-8004-2021-25-3-47-58
 32. Ryazantsev V.E., Vlasov A.P., Mashnin I.V. Application of low-intensity laser radiation in the complex treatment of acute kidney injury. *Laser Medicine*. 2020; 24 (4): 18–23 (In Russ.). DOI: 10.37895/2071-8004-2020-24-4-19-23
 33. Achilov A.A., Almazov I.I., Kulikova T.V., Borisova G.A., Sidorenko B.A. The state of the microvasculature, hemoperfusion and tissue oxygen regime in patients with coronary heart disease with angina pectoris. *Ter. Archive*. 1984; 6: 39–43 (In Russ.).

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest:

The authors no conflict of interest.

Сведения об авторах

Ачилов Абдухат Абдурахмонович – доктор медицинских наук, профессор, терапевт, кардиолог, руководитель отделения амбулаторной лазерной медицины ФГБУ «Научно-практический центр лазерной медицины им. О.К. Скобелкина ФМБА России»; профессор кафедры терапии с курсом фармации и фармакологии Медицинского института непрерывного образования ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет». ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7220-246X>

Горнов Сергей Валерьевич – доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры медицинской реабилитации и физических методов лечения с курсами остеопатии и паллиативной медицины Медицинского института непрерывного образования ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет». ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3389-4309>

Усмонзода Далер Усманович – врач – терапевт ГБУЗ «ДКЦ 1 ДЗМ», филиал 3. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4798-3483>

Бобоев Комронбек Фарходович – клинический ординатор кафедры хирургии, «Институт последипломного образования в сфере здравоохранения Республики Таджикистан». ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9964-7236>

Ачилова Людмила Николаевна – врач ЛФК отделения лечебной физкультуры, Филиал 2 ФГБУ «НМИЦ ВМТ им. А.А. Вишневого» МО РФ. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3043-3272>

Пулатова Мохинисо Давронджоновна – терапевт, ГБУЗ «ГП 134 ДЗМ». ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5430-0877>

Мустафаев Равшан Джалалович – ведущий научный сотрудник отделения лазерных технологий в хирургии ФГБУ «Научно-практический центр лазерной медицины им. О.К. Скобелкина ФМБА России». ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3701-6068>

Коньков Александр Викторович – заведующий кафедрой терапии с курсом фармакологии и фармации Медицинского института непрерывного образования ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет». ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0666-0854>

Authors information

Abdukhath A. Achilov – Dr. Sci. (Med.), Professor, Therapist, Cardiologist, Head of the Department of Ambulatory Laser Medicine of the Skobelkin Scientific and Practical Center for Laser Medicine FMBA of Russia. Professor of the Department of Therapy with a course of pharmacy and pharmacology at the Medical Institute of Continuing Education of the Russian Biotechnological University. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7220-246X>

Sergey V. Gornov – Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Professor of the Department of Medical Rehabilitation and Physical Treatment Methods with Osteopathy and Palliative Medicine Courses at the Medical Institute of Continuing Education of the Russian Biotechnology University. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3389-4309>

Daler U. Usmonzoda – therapist, GBUZ “DCC 1 DZM”, branch 3. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4798-3483>

Komronbek F. Boboev – clinical resident of the Department of Surgery, Tajikistan Healthcare Institute of Postgraduate Education. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9964-7236>

Lyudmila N. Achilova – doctor of department of physical therapy, Branch 2 of the Federal State Budgetary Institution “Vishnevsky National Medical Research Center” of the Ministry of Defense of the Russian Federation. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3043-3272>

Mokhiniso D. Pulatova – therapist, GP 134 DZM. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5430-0877>

Ravshan J. Mustafaev – leading researcher at the Department of Laser Technologies in Surgery, Skobelkin Scientific and Practical Center for Laser Medicine FMBA of Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3701-6068>

Alexander V. Konkov – head of the department of therapy with a course of pharmacology and pharmacy at the Medical Institute of Continuing Education of the Russian Biotechnological University. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0666-0854>

УДК: 617.735

DOI: 10.37895/2071-8004-2024-28-4-26-34

Тип статьи: Оригинальные исследования

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ КЛИНИЧЕСКОГО РЕЗУЛЬТАТА ПРИ ЛЕЧЕНИИ ОСТРОЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СЕРОЗНОЙ ХОРИОРЕТИНОПАТИИ ПО ТЕХНОЛОГИИ СЕЛЕКТИВНОЙ МИКРОИМПУЛЬСНОЙ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РЕТИНАЛЬНОЙ ТЕРАПИИ (СМИРТ)

П.Л. Володин, Е.В. Иванова

ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Москва, Россия

Резюме

Цель. Определить, какой уровень вероятности визуализации пятна (ВВП) по данным коротковолновой аутофлуоресценции (АФ) необходим для достижения клинического результата при лечении центральной серозной хориоретинопатии (ЦСХРП) по технологии селективной микроимпульсной индивидуальной ретиальной терапии (СМИРТ).

Материалы и методы. Под наблюдением находилось 83 пациента (83 глаза) с острой ЦСХРП в возрасте от 30 до 65 лет с 1–4-м типом внешности по шкале Фитцпатрика. Пациенты были разделены на 4 группы. В группах 1, 2 и 3 проводили лечение ЦСХРП селективным микроимпульсным режимом без предварительного тестирования на лазерной установке Iridex IQ 577 (50–150 мкс, 0,5–5 %, 10–50 мс (1–5 импульсов в пакете), 1,0–2,0 Вт, 100 мкм). Параметры рассчитывали по формулам с учетом возраста и типа внешности для предсказания заданного уровня ВВП по данным АФ. В группе 1 для лечения применяли параметры, которые соответствовали уровню ВВП 50 %, во 2-й группе – ВВП 70 %, а в группе 3 – ВВП 90 %. Лазерные аппликаты наносили вплотную друг к другу, полностью покрывая зоны отслоек и дефектов РПЭ. В 4-й группе (контрольной) лечение ЦСХРП не проводили.

Результаты. В группе 1 через 1 месяц после лечения полная резорбция субретиальной жидкости (СРЖ) произошла на 3 глазах (16,67 %), а через 3 месяца – на 7 глазах (38,89 %) ($p < 0,29$). В группе 2 через 1 месяц прилегание нейросенсорной сетчатки наблюдалось на 8 глазах (38,1 %), а через 3 месяца прилегание произошло у 13 пациентов (61,9 %) ($p < 0,011$). В группе 3 через 1 месяц после лазерного воздействия полная резорбция СРЖ наблюдалась у 17 пациентов (70,83 %), а через 3 месяца – у 22 пациентов (91,67 %) ($p < 0,0008$). В контрольной группе за 1 месяц наблюдения прилегание нейросенсорной сетчатки произошло у 2 пациентов (10 %), а за 3 месяца наблюдения – у 4 пациентов (20 %).

Выводы. Высокая клиническая эффективность лечения ЦСХРП по технологии СМИРТ наблюдается при применении параметров, которые соответствуют уровню ВВП по данным АФ 90 %.

Ключевые слова: центральная серозная хориоретинопатия, микроимпульс, пороговое повреждение РПЭ, аутофлуоресценция, шкала Фитцпатрика.

Для цитирования: Иванова Е.В., Володин П.Л. Определение уровня воздействия, необходимого для клинического результата при лечении острой центральной серозной хориоретинопатии по технологии селективной микроимпульсной индивидуальной ретиальной терапии (СМИРТ). *Лазерная медицина*. 2024; 28(4):26–34. <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2024-28-4-26-34>

Контакты: Иванова Е.В., e-mail: elena-mntk@yandex.ru

LEVEL OF THE IMPACT NECESSARY FOR OBTAINING CLINICAL RESULTS IN PATIENTS WITH ACUTE CENTRAL SEROUS CHORIORETINOPATHY USING THE TECHNOLOGY OF SELECTIVE MICROPULSE INDIVIDUAL RETINAL THERAPY (SMIRT)

Volodin P.L., Ivanova E.V.

S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Moscow, Russia

Abstract

Purpose. To determine which is the level of probability of damage detection (PDD) by shortwave autofluorescence (AF) to achieve clinical results in the treatment of central serous chorioretinopathy (CSCR) using the technology of selective micropulse individual retinal therapy (SMIRT).

Material and methods. 83 patients (83 eyes) with acute CSCR, aged 30–65, type 1–4 by the Fitzpatrick scale, were under the observation. Patients were divided into four groups. Selective micropulse mode without preliminary testing on Iridex IQ 577 laser system (50–150 μ s, 0.5–5 %, 10–50 ms (1–5 pulses), 1.0–2.0 W, 100 μ m) was used to treat CSCR in patients from Groups 1, 2 and 3. Parameters to predict the effective PDD levels by AF data were calculated using formulas taking into account patient's age and type of appearance. In Group 1, parameters for treatment that corresponded to PDD level equal to 50 % were used; in Group 2 – to PDD level of 70 %, and in Group 3 – to PDD level of 90 %. Laser spots were applied close to each other, completely covering detachment areas and RPE defects. In Group 4 (controls), no CSCR treatment was performed.

Results. In Group 1, one month after the treatment complete resorption of subretinal fluid (SF) was seen in 3 eyes (16.67 %), and three months later – in 7 eyes (38.89 %) ($p < 0.29$). In Group 2, in one month complete SF resorption was observed in 8 eyes (38.1 %), and in three months – in 13 patients (61.9 %) ($p < 0.011$). In Group 3, complete SF resorption was observed in 17 patients (70.83 %) in one month after laser treatment,

and three months later – in 22 patients (91.67 %) ($p < 0.0008$). In the control group, during one month follow-up, complete SF resorption was seen in 2 patients (10 %), and during 3-month follow-up – in 4 patients (20 %).

Conclusion. High clinical effectiveness of CSCR treatment with SMIRT technology is achieved when using parameters that correspond to PDD level by AF data of 90 %.

Keywords: central serous chorioretinopathy, micropulse, retinal pigment epithelium, threshold damage RPE, autofluorescence, Fitzpatrick scale

For citations: Volodin P.L., Ivanova E.V. Level of the impact necessary for obtaining clinical results in patients with acute central serous chorioretinopathy using the technology of selective micropulse individual retinal therapy (SMIRT). *Laser Medicine*. 2024; 28(3):26–34. [In Russ.]. <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2024-28-4-26-34>

Contacts: Ivanova E.V., e-mail: elena-mntk@yandex.ru

ВВЕДЕНИЕ

Центральная серозная хориоретинопатия (ЦСХРП) является частой патологией макулярной области, характеризующейся отслойкой нейросенсорной сетчатки. Заболевание возникает вследствие изменений в хориоидее с декомпенсацией ретинального пигментного эпителия (РПЭ), которая ведет к разрушению наружного гематоретинального барьера и накоплению жидкости в субретинальном пространстве [1]. Поэтому патогенетически обоснованным подходом для достижения клинического результата является прицельное воздействие на определенные участки РПЭ [2–4]. По результатам проведенных исследований при селективном повреждении РПЭ через 1 сутки после воздействия начинается пролиферация и миграция прилежащих клеток, а через 7 дней происходит полное восстановление слоя РПЭ [5, 6]. Закрытие дефекта пролиферирующими клетками РПЭ приводит к наступлению терапевтического эффекта [7].

На серийных лазерных установках избирательное воздействие на РПЭ реализуется в узком окне параметров микроимпульсных режимов, что определено по данным компьютерного моделирования [8–13]. Наиболее чувствительным методом диагностики термического повреждения РПЭ является коротковолновая (АФ) [14]. В зоне нанесения лазерных аппликаторов при достаточном уровне воздействия определяются гипофлуоресцентные пятна [14, 15]. Для учета индивидуальных особенностей каждого пациента перед лечением ЦСХРП по технологии селективной микроимпульсной индивидуальной ретинальной терапии (СМИРТ) проводят предварительное тестирование и оценивают результаты по данным АФ [2, 16, 17]. Обработка результатов накопленной многолетней базы тестирования селективного микроимпульсного режима позволила определить закономерности предсказания заданного уровня вероятности визуализации пятна (ВВП) по данным АФ в зависимости возраста, типа внешности пациента и параметров микроимпульсного режима. Инверсия полученной зависимости позволила вывести формулы расчета требуемой длительности микроимпульса, количества импульсов и мощности микроимпульсного режима на серийных лазерных установках для заданного уровня воздействия на РПЭ с учетом возраста и типа внешности каждого пациента [18].

Для поиска минимальных параметров для лечения важно определить, какая степень порогового повреждения РПЭ, регистрируемая на АФ, достаточна для достижения клинического эффекта. Прицельное лазерное воздействие на точки фильтрации по данным флуоресцентной ангиографии или на отслойки или дефекты РПЭ по данным оптической когерентной томографии в ангиорежиме (ОКТ-А) приводит к закрытию дефектов РПЭ и последующей резорбции субретинальной жидкости (СРЖ) [3]. В случае корректного подбора параметров и технологии нанесения лазерных аппликаторов вплотную друг к другу, можно определить достаточно ли применяемых параметров для достижения клинического результата.

Цель настоящего исследования – определить, какой уровень ВВП по данным АФ необходим для достижения клинического результата при лечении ЦСХРП по технологии СМІРТ без предварительного тестирования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Под нашим наблюдением находилось 83 пациента (83 глаза) с острой ЦСХРП в возрасте от 30 до 65 лет. Для количественного описания внешности пациентов применили известную цифровую шкалу Фитцпатрика, которая учитывает цвет глаз, кожи и волос. В зависимости от внешних признаков пациенты были отнесены к 1–4-му типу. В затруднительных случаях уточняли у пациента его чувствительность кожи к солнцу и загару.

Все пациенты предъявляли жалобы на метаморфопсии, микропсии и появление пятна перед глазом. Длительность симптомов заболевания варьировала от 3 до 6 мес. По данным ОКТ, во всех случаях определялась отслойка нейросенсорной сетчатки в макуле со скоплением СРЖ под ней. Критерии невключения в исследование: сопутствующая патология органа зрения, помутнение оптических сред, тяжелые соматические заболевания, хроническое течение ЦСХРП и ранее выполненное лазерное лечение, введение ингибиторов ангиогенеза и проведение фотодинамической терапии в анамнезе.

Всем пациентам лечение ЦСХРП проводили на лазерной установке Iridex IQ 577 по технологии СМІРТ. Для лечения применяли селективный микроимпульсный режим (диаметр пятна – 100 мкм, длительность микроимпульса – от 50 до 150 мкс, интервал между

импульсами – 10000 мкс, рабочий цикл – 0,5–5 %, длительность пакета микроимпульсов от 10 до 50 мс (1–5 импульсов в пакете), мощность – 1,0–2,0 Вт, длина волны 577 нм). Лазерные аппликаты наносили вплотную друг к другу, полностью покрывая зоны отслоек и дефектов РПЭ.

Пациенты были разделены на 4 группы. В группах 1, 2 и 3 проводили лечение ЦСХРП селективным микроимпульсным режимом без предварительного тестирования на лазерной установке Iridex IQ 577. Параметры рассчитывали по формулам с учетом возраста и типа внешности [18]. В группе 1 для лечения применяли параметры, которые соответствовали уровню воздействия ВВП 50 %, во 2-й – ВВП 70 %, а для группы 3 – ВВП 90 % по данным АФ. Пациентам группы 4 (контрольной) лечение ЦСХРП не проводили.

Всем пациентам кроме стандартного офтальмологического обследования дополнительно проводили ОКТ и флюоресцентную ангиографию для определения точки фильтрации. У всех пациентов по данным ОКТ определялась отслойка нейроретина в макуле со скоплением СРЖ. Сроки наблюдения: 1 и 3 месяца. В контрольные сроки наблюдения выполняли ОКТ и оценивали наличие или отсутствие СРЖ. ОКТ выполняли на приборах Stratus OCT 3000, CIRRUS HD-OCT 5000 (Carl Zeiss Meditec Inc, Германия) и Spectralis HRA+OCT (Heidelberg, Германия).

Формулы для расчета индивидуальных параметров селективного микроимпульсного режима, которые применяли для лечения ЦСХРП по технологии СМИРТ

Формулы расчета параметров с учетом возраста и типа внешности для лечения пациентов с ЦСХРП по технологии СМИРТ получены на основе обработки результатов тестирования селективного микроимпульсного режима с оценкой результатов по данным АФ [18]. Для этого зависимость ВВП по данным АФ в виде логистической функции от мощности, длительности микроимпульса, количества импульсов в пакете, возраста и типа внешности по шкале Фитцпатрика была инвертирована в соответствующие формулы (уравнения (1), (2) и (3)). Данные уравнения подбора параметров представлены для расчета ВВП 90 %. Для достижения уровня воздействия ВВП 50 и 70 % по данным АФ необходимые значения подставляются в формулы.

Согласно компьютерному моделированию для микроимпульсного режима (50–150 мкс, 0,5–5 %, 50 мс) увеличение времени пропорционально мощности для достижения такой же степени повреждения РПЭ [8]. На лазерной установке Iridex IQ 577 невозможно применять мощность более 2 Вт, поэтому для увеличения эффективности воздействия требуется увеличить длительность единичного микроимпульса или количество импульсов в пакете.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Клиническую эффективность при лечении пациентов с ЦСХРП оценивали по полной резорбции СРЖ по данным ОКТ через 1 и 3 месяца. В группе 1 через 1 месяц после лазерного воздействия селективным микроимпульсным режимом с ВВП 50 % полная резорбция СРЖ произошла на 3 глазах (16,67 %), а через 3 месяца после лечения на 7 глазах (38,89 %) ($p < 0,29$). В группе 2 через 1 месяц после лазерного воздействия селективным микроимпульсным режимом с ВВП 70 % прилегание нейросенсорной сетчатки наблюдалось на 8 глазах (38,1 %), а через 3 месяца прилегание произошло у 13 пациентов (61,9 %) ($p < 0,011$). В группе 3 через 1 месяц после лазерного лечения по технологии СМИРТ с уровнем воздействия ВВП 90 % полная резорбция СРЖ наблюдалось у 17 пациентов (70,83 %), а через 3 месяца у 22 пациентов (91,67 %) ($p < 0,0008$). В контрольной группе за 3 месяца наблюдения прилегание нейросенсорной сетчатки произошло у 2 пациентов (10 %), а за 3 месяца наблюдения – у 4 пациентов (20 %). Динамика резорбции СРЖ у пациентов с ЦСХРП представлена в таблице и на рисунке.

Как видно, параметры селективного микроимпульсного режима, рассчитанные для уровня воздействия ВВП 70 % и ВВП 90 % по данным АФ с высоким уровнем достоверности приводят к положительному клиническому результату. При лечении с параметрами, соответствующим ВВП 50 %, прилегание нейроретина произошло в половине случаев, что соответствует $p < 0,29$ по сравнению с контрольной группой. Применение параметров с ВВП 70 % и ВВП 90 % при лазерном лечении ЦСХРП приводит к увеличению сроков резорбции СРЖ и случаев прилегания нейросенсорной сетчатки. По данным компьютерного моделирования во всех случаях сохраняются высокие значения селективности [8]. Таким образом, параметры с ВВП 90 % за один сеанс лазерного воздействия приводят к лечению ЦСХРП в 91,7 % случаев за 3 месяца наблюдения.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время существует несколько подходов к лазерному лечению ЦСХРП, которые отличаются между собой по степени воздействия на РПЭ, нейросенсорную сетчатку, хориоидею, а также по клинической эффективности. Как известно, острая ЦСХРП – это заболевание, которое имеет тенденцию к самостоятельному разрешению. В исследовании на 77 пациентах с ЦСХРП спонтанная резорбция СРЖ за 1 месяц произошла на 11 глазах (14 %), а за 3 месяца – на 20 глазах (26 %) [19].

Анализ литературы показывает, что при лечении ЦСХРП методом лазерной коагуляции наблюдается быстрая резорбция СРЖ после лечения. Так, при фокальной лазерной коагуляции точек фильтрации

Таблица

Динамика резорбции СРЖ у пациентов с ЦСХРП через 1 и 3 месяца после лечения по технологии СМИРТ с параметрами, рассчитанными по формуле для уровня ВВП 50, 70 и 90 по данным АФ в сравнении с контрольной группой

Table

Dynamics of SF resorption in patients with CSCR 1 and 3 months after treatment using the SMIRT technology with parameters calculated using the formula for the level of PDD 50, 70 and 90 according to AF data in comparison with the control group

	Группа 1 Group 1	Группа 2 Group 2	Группа 3 Group 3	Группа 4 (Контрольная) Group 4 (controls)
Уровень ВВП PPD level	50 %	70 %	90 %	-
Количество глаз в группе Number of eyes in group	18	21	24	20
Количество глаз без СРЖ через 1 месяц Number of eyes without SF in one month	3 (16,67 %)	8 (38,10 %)	17 (70,83 %)	2 (10 %)
Value	$p < 0,65$	$p < 0,067$	$p < 0,000056$	
Количество глаз без СРЖ через 3 месяца Number of eyes without SF in three month	7 (38,89 %)	13 (61,90 %)	22 (91,67 %)	4 (20 %)
p-value	$p < 0,29$	$p < 0,011$	$p < 0,00000146$	

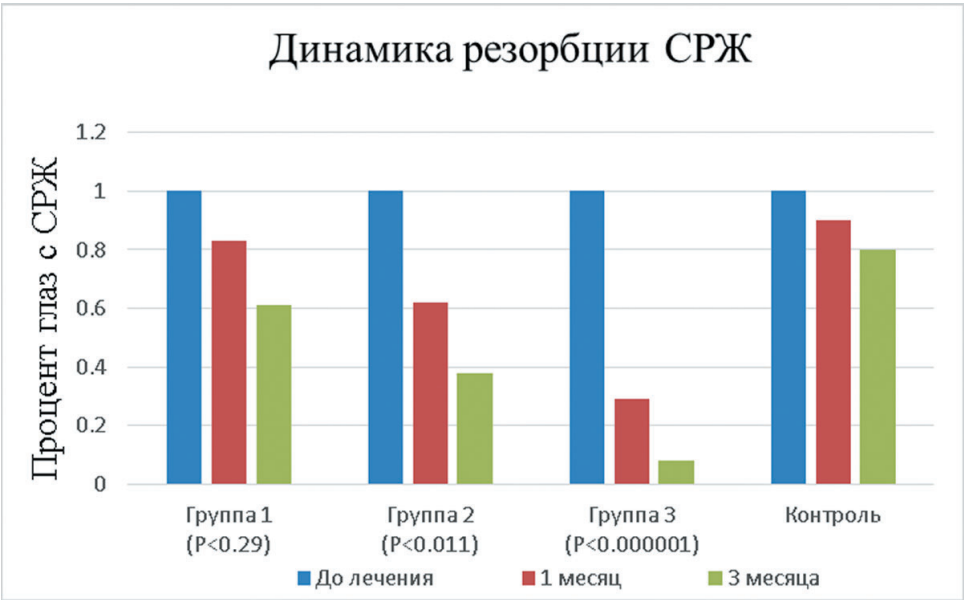


Рис. Динамика резорбции СРЖ у пациентов с ЦСХРП через 1 и 3 месяца после лечения по технологии СМИРТ с параметрами, рассчитанными по формуле для уровня ВВП 50, 70 и 90 % по данным АФ в сравнении с контрольной группой

Fig. Dynamics of SF resorption in patients with CSCR in 1 and 3 months after the treatment using SMIT technology and parameters calculated by the formula for PDD level of 50, 70 and 90 % in comparison with the control group. AF data were used for calculations

на 12 глазах с ЦСХРП отмечено, что за 1 месяц СРЖ резорбировалась на 7 глазах (58 %), а через 3 месяца на – 12 глазах (100 %) [20]. При навигационной фокальной лазерной коагуляции у пациентов с ЦСХРП (16 глаз), где точку просачивания определяли с помощью ОКТ, у всех пациентов произошла полная резорбция СРЖ за 2 месяца [21]. Быстрая резорбция СРЖ объясняется разрушением РПЭ, которое достоверно произошло при наличии видимых изменений на сетчатке. Поэтому, как известно, лазерную коагуляцию нельзя проводить в фовеальной аваскулярной зоне.

Субпороговые методы лечения разрабатывались с целью снижения повреждения сетчатки и ятрогенных осложнений. Под субпороговым подразумевают лазерное воздействие, с такими параметрами, при котором видимые изменения на глазном дне отсутствуют [22]. При лечении 14 глаз с острой ЦСХРП субпороговым микроимпульсным режимом с воздействием на фокальные участки ликеджа полная резорбция СРЖ произошла в 64 % за 2 месяца [23]. При проведении навигационного лечения 10 глаз с ЦСХ с субфовеальной точкой фильтрации микроимпульсным режимом (0,1 с,

5 %, 100 мкм,) в 60 % произошла полная резорбция СРЖ за 3 месяца [24]. При лечении 24 глаз с ЦСХРП длительностью более 3 месяцев микроимпульсным режимом с рабочим циклом 15 %, средней мощностью 1,35 Вт (от 1 до 2 Вт) и нанесением 215 (90–400) аппликаторов резорбция СРЖ отмечена в 66 % случаев через 1 месяц после лечения и на 75 % глазах в конце срока наблюдения [25]. Таким образом, при лечении субпороговыми лазерными методами терапевтический эффект наблюдается в меньшем проценте случаев. По результатам компьютерного моделирования установлено, что при субпороговых методах лазерного лечения не происходит избирательного повреждения РПЭ и уровень повышенной температуры быстро распространяется на прилежащие ткани [8, 26]. При этом дозы лазерного воздействия может быть недостаточно для воздействия на РПЭ. Также при применении этих методов не исключены ятрогенные осложнения [22].

При лечении ЦСХРП по технологии СМИРТ с предварительным тестированием полная резорбция СРЖ наблюдается у всех пациентов после лечения. Такие результаты можно объяснить учетом индивидуальных особенностей и применением параметров, достаточных для избирательного разрушения РПЭ, что подтверждается данными АФ [2, 16, 17]. Важно отметить, что параметры подобраны специально для достижения избирательно воздействия на РПЭ без повреждения нейросенсорной сетчатки и хориоидеи с учетом технических характеристик лазерных установок [8, 27].

При селективной ретинальной терапии (СРТ) происходит полное механическое разрушение РПЭ за счет формирования микропузырьков без повреждения прилежащих структур. Данная технология имеет высокую селективность и избирательное воздействие на РПЭ [28]. При анализе результатов лечения с помощью СРТ 27 глаз с острой ЦСХРП через 4 недели произошла резорбция СРЖ в 85,2 %, а через 3 месяца на всех глазах (100 %) [29]. Однако данная технология реализуется только на экспериментальных лазерных установках и недоступна в широкой клинической практике.

Лечение ЦСХРП по технологии СМИРТ с параметрами селективного микроимпульсного режима, рассчитанными для уровня воздействия ВВП 70 % и ВВП 90 % по данным АФ с высоким уровнем достоверности приводят к клиническому результату. При лечении с параметрами, соответствующим ВВП 50 %, прилегание нейроэпителия произошло в половине случаев, что соответствует $p < 0,29$ по сравнению с контрольной группой. Таким образом, параметры с ВВП 90 % за один сеанс лазерного воздействия приводят к излечению ЦСХРП в 91,7 % случаев за 3 месяца наблюдения. При лечении ЦСХРП по технологии СМИРТ на навигационной лазерной установке полная резорбция СРЖ достигнута у всех пациентов при лечении

с параметрами, при которых происходит повреждение РПЭ с вероятностью 90 % [30]. По данным компьютерного моделирования установлено, что при всех уровнях воздействия происходит избирательное воздействие на РПЭ с минимальным повреждением прилежащих структур [8, 27].

Проведенный анализ показывает, что полная резорбция СРЖ после лечения наблюдается при применении методик, предусматривающих значительное воздействие на РПЭ в месте нанесения лазерных аппликаторов. При лазерной коагуляции возникает термоденатурация РПЭ и прилежащих структур, а при СРТ – избирательное разрушение РПЭ, что объясняет ее высокую клиническую эффективность. При применении субпороговых методик полная резорбция СРЖ наблюдается в меньшем проценте случаев. Причина связана с тем, что при низких параметрах степени повреждения РПЭ недостаточно для достижения клинического эффекта. То есть при снижении степени воздействия ниже порогового повреждения РПЭ уменьшается вероятность наступления клинического эффекта. При субпороговых режимах эффективность лазерного воздействия начинает сильно зависеть от индивидуальных характеристик. Пациенты значительно отличаются между собой по возрасту и типу внешности, и как следствие, при воздействии около порога сложно определить параметры, при которых будет достигнуто целевое повреждение РПЭ. Поэтому при субпороговых методах лечения сложно достичь компромисса между риском повреждения сетчатки и получением клинического результата. Отсутствие учета дисперсии индивидуальных особенностей пациентов приводит к снижению эффективности лечения, нестабильности результата, увеличению непредсказуемости и сложности подбора параметров. Для снижения повреждения нейросенсорной сетчатки и повышения эффективности лечения за счет воздействия на РПЭ обоснованным является применение селективных методов лечения с учетом персональных характеристик [2, 16, 30].

Таким образом, СМИРТ с параметрами, рассчитанными для уровня воздействия ВВП 90 %, по данным АФ оказывается намного ближе к СРТ, но реализуется на серийных лазерных установках и может с высокой эффективностью применяться при лечении ЦСХРП. Учитывая высокую селективность, СМИРТ является предпочтительным методом лечения при локализации патологических изменений в фовеальной аваскулярной зоне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Высокая клиническая эффективность лечения центральной серозной хориоретинопатии по технологии СМИРТ наблюдается при применении параметров лазерного излучения, которые соответствуют уровню ВВП по данным АФ 90 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. van Rijssen T.J., van Dijk E.H.C., Yzer S., Ohno-Matsui K., Keunen J.E.E., Schlingemann R.O., Sivaprasad S., Querques G., Downes S.M., Fauser S., Hoyng C.B., Piccolino F.C., Chhablani J.K., Lai T.Y.Y., Lotery A.J., Larsen M., Holz F.G., Freund K.B., Yannuzzi L.A., Boon C.J.F. Central serous chorioretinopathy: Towards an evidence-based treatment guideline. *Prog Retin Eye Res.* 2019; 73: 100770. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2019.07.003
2. Volodin P.L., Ivanova E.V. Clinical evaluation of individualized and navigated microsecond pulsing laser for acute central serous chorioretinopathy. *Ophthalmic Surgery Lasers and Imaging Retina.* 2020; 51: 512–520. DOI: 10.3928/23258160-20200831-06
3. Володин П.Л., Иванова Е.В., Полякова Е.Ю., Фомин А.В. Спектральная ОКТ-ангиография в режиме En Face в выявлении морфологических изменений ретинального пигментного эпителия до и после селективного микроимпульсного лазерного воздействия у пациентов с центральной серозной хориоретинопатией. *Офтальмология.* 2019; 16 (2): 192–201.
4. Качалина Г.Ф., Желтов Г.И., Иванова Е.В. Современные подходы применения микроимпульсного режима при лечении заболеваний центральной зоны сетчатки. *Таврический медико-биологический вестник.* 2012; 15 (3–3): 225–227.
5. Richert E., Koinzer S., Tode J., Schlott K., Brinkmann R., Hillenkamp J., Klettner A., Roeder J. Release of different cell mediators during retinal pigment epithelium regeneration following selective retina therapy. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2018; 59 (3): 1323–1331. DOI: 10.1167/iov.17-23163
6. Treumer F., Klettner A., Baltz J., Hussain A.A., Miura Y., Brinkmann R., Roeder J., Hillenkamp J. Vectorial release of matrix metalloproteinases (MMPs) from porcine RPE-choroid explants following selective retina therapy (SRT): towards slowing the macular ageing process. *Exp Eye Res.* 2012; 97 (1): 63–72. DOI: 10.1016/j.exer.2012.02.011
7. Zhang J.J., Sun Y., Hussain A.A., Marshall J. Laser-mediated activation of human retinal pigment epithelial cells and concomitant release of matrix metalloproteinases. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012; 53: 2928–2937. DOI: 10.1167/iov.11-8585
8. Ivanova E.V., Volodin P.L., Guskov A.V. Determination of Micropulse Modes with Targeted Damage to the Retinal Pigment Epithelium Using Computer Modeling for the Development of Selective Individual Micropulse Retinal Therapy. *Curr Eye Res.* 2022; 47 (1): 107–114. DOI: 10.1080/02713683.2021.1962360
9. Володин П.Л., Желтов Г.И., Иванова Е.В., Соломин В.А. Калибровка параметров микроимпульсного режима лазера IRIDEX IQ 577 с помощью компьютерного моделирования и методов диагностики глазного дна. *Современные технологии в офтальмологии.* 2017; 1: 52–54
10. Володин П.Л., Иванова Е.В. Компьютерное моделирование лазерного воздействия в режиме единичного микроимпульса и реакции белков хориоретинального комплекса для селективного и эффективного воздействия на клетки ретинального пигментного эпителия. *Лазерная медицина.* 2018; 22 (1): 61–65. DOI: 10.37895/2071-8004-2018-22-1-61-65
11. Желтов Г.И., Глазков В.Н., Иванова Е.В. Селективное действие лазерных импульсов на ретинальный пигментный эпителий. *Физические основы.* // ARS-MEDICA. 2012; 3 (58): 78–85.
12. Качалина Г.Ф., Желтов Г.И., Иванова Е.В. Оптимизация режимов лазера IRIS Medical IQ 577 для избирательного воздействия на пигментный эпителий сетчатки. *Офтальмология Восточная Европа.* 2015; 4 (27): 69–77.
13. Тахчиди Х.П., Качалина Г.Ф., Желтов Г.И., Иванова Е.В. Новая технология восстановления зрительных функций, основанная на избирательном воздействии коротких импульсов лазерного излучения на пигментный эпителий сетчатки. *Офтальмология в Беларуси.* 2010; 4 (07): 79–83.
14. Володин П.Л., Иванова Е.В., Соломин В.А. Возможности современных методов диагностики и компьютерной обработки данных с помощью программы «Фемтоскан» для выявления слабых термических повреждений клеток ретинального пигментного эпителия. *Лазерная медицина.* 2018; 22 (1): 52–56.
15. Framme C., Schüle G., Brinkmann R., Birngruber R., Roeder J. Fundus Autofluorescence After Selective RPE Laser Treatment. *Ophthalmologie.* 2002; 99 (11): 854–860. DOI: 10.1007/s00347-002-0684-z
16. Володин П.Л., Иванова Е.В. Селективная микроимпульсная индивидуальная ретинальная терапия при навигационном лечении центральной серозной хориоретинопатии с подбором параметров путем предварительного тестирования. *Клиническая офтальмология.* 2023; 23 (3): 112–118. DOI: 10.32364/2311-7729-2023-23-3-1
17. Володин П.Л., Иванова Е.В., Соломин В.А., Письменная В.А., Хрисанфова Е.С. Первый опыт применения селективного микроимпульсного лазерного воздействия (577 нм) с индивидуальным подбором параметров у пациентов с острой центральной серозной хориоретинопатией. *Практическая медицина.* 2017; 2 (9) (110): 55–59.
18. Иванова Е.В., Володин П.Л. Расчет параметров микроимпульсного режима с учетом возраста и типа внешности по шкале Фитцпатрика для селективной микроимпульсной индивидуальной ретинальной терапии (СМИРТ) на серийных лазерах. *Лазерная медицина.* 2024; 28 (2): 15–26. DOI: 10.37895/2071-8004-2024-28-2-15-26
19. Ozkaya A., Alkin Z., Ozveren M., Yazici A.T., Taskapili M. The time of resolution and the rate of recurrence in acute central serous chorioretinopathy following spontaneous resolution and low-fluence photodynamic therapy: a case-control study. *Eye (Lond).* 2016; 30 (7): 1005–1010. DOI: 10.1038/eye.2016.79
20. Lim J.W., Kang S.W., Kim Y., Chung S.E., Lee S.W. Comparative study of patients with central serous chorioretinopathy undergoing focal laser photocoagulation or photodynamic therapy. *Br J Ophthalmol.* 2011; 95 (4): 514–517. DOI: 10.1136/bjo.2010.182121
21. Maltsev D.S., Kulikov A.N., Chhablani J. Clinical Application of Fluorescein Angiography-Free Navigated Focal Laser Photocoagulation in Central Serous Chorioretinopathy. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina.* 2019; 1 (50). № (4): 118–124. DOI: 10.3928/23258160-20190401-16
22. Gawęcki M. Increase in Central Retinal Edema after Sub-threshold Diode Micropulse Laser Treatment of Chronic Cen-

- tral Serous Chorioretinopathy. *Case Rep Ophthalmol Med*. 2015; 813414. DOI: 10.1155/2015/813414
23. Maruko I., Koizumi H., Hasegawa T., Hisaya A., Iida T. Sub-threshold 577 nm micropulse laser treatment for central serous chorioretinopathy. *PLoS One*. 2017; 29 № 12 (8): 0184112. DOI: 10.1371/journal.pone.0184112
 24. Ambiya V., Goud A., Mathai A., Rani P.K., Chhablani J. Microsecond yellow laser for subfoveal leaks in central serous chorioretinopathy. *Clin Ophthalmol*. 2016; 11 (10): 1513–1539. DOI: 10.2147/OPTH.S112431
 25. Lanzetta P., Furlan F., Morgante L., Veritti D., Bandello F. Nonvisible subthreshold micropulse diode laser (810 nm) treatment of central serous chorioretinopathy. A pilot study. *Eur. J. Ophthalmol*. 2008; 18: 934–940.
 26. Wang J., Quan Y., Dalal R., Palanker D. Comparison of continuous-wave and micropulse modulation in retinal laser therapy. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2017; 58 (11): 4722–4732. DOI: 10.1167/iov.17-2161
 27. Иванова Е.В., Володин П.Л. Определение режимов безопасного применения селективной микроимпульсной индивидуальной ретиальной терапии макулярной зоны с помощью моделирования на основе теории активированного комплекса. *Лазерная медицина*. 2023; 27 (2): 22–31. DOI: 10.37895/2071-8004-2023-27-2-22-31
 28. Roeder R., Michaud N.A., Flotte T.J., Birngruber R. Response of the retinal pigment epithelium to selective photocoagulation. *Arch Ophthalmol*. 1992; 110 (12): 1786–1792. DOI: 10.1001/archoph.1992.01080240126045
 29. Elsner H., Pörksen E., Klatt C., Bunse A., Theisen-Kunde D., Brinkmann R., Birngruber R., Laqua H., Roeder J. Selective retina therapy in patients with central serous chorioretinopathy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2006; 244 (12): 1638–1645. DOI: 10.1007/s00417-006-0368-5
 30. Ivanova E.V., Volodin P.L. Development of the selective micropulse individual retinal therapy depends on age and type on the Fitzpatrick scale. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2022; 261 (2): 381–390. DOI: 10.1007/s00417-022-05800-9
 4. Kachalina G.F., Zheltov G.I., Ivanova E.V. Modern approaches to the use of micro-pulse mode in the treatment of diseases of the central zone of the retina. *Tavricheskiy Medicobiological Vestnik*. 2012; 15 (3–3): 225–227 (In Russ.).
 5. Richert E., Koinzer S., Tode J., Schlott K., Brinkmann R., Hillenkamp J., Klettner A., Roeder J. Release of different cell mediators during retinal pigment epithelium regeneration following selective retina therapy. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2018; 59 (3): 1323–1331. DOI: 10.1167/iov.17-23163
 6. Treumer F., Klettner A., Baltz J., Hussain A.A., Miura Y., Brinkmann R., Roeder J., Hillenkamp J. Vectorial release of matrix metalloproteinases (MMPs) from porcine RPE-choroid explants following selective retina therapy (SRT): towards slowing the macular ageing process. *Exp Eye Res*. 2012; 97 (1): 63–72. DOI: 10.1016/j.exer.2012.02.011
 7. Zhang J.J., Sun Y., Hussain A.A., Marshall J. Laser-mediated activation of human retinal pigment epithelial cells and concomitant release of matrix metalloproteinases. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012; 53: 2928–2937. DOI: 10.1167/iov.11-8585
 8. Ivanova E.V., Volodin P.L., Guskov A.V. Determination of Micropulse Modes with Targeted Damage to the Retinal Pigment Epithelium Using Computer Modeling for the Development of Selective Individual Micropulse Retinal Therapy. *Curr Eye Res*. 2022; 47 (1): 107–114. DOI: 10.1080/02713683.2021.1962360
 9. Volodin P.L., Zheltov G.I., Ivanova E.V., Solomin V.A. Calibration of the parameters of the micro-pulse mode of the IRIDEX IQ 577 laser using computer modeling and fundus diagnostic methods. *Modern technologies in ophthalmology*. 2017; 1: 52–54 (In Russ.).
 10. Volodin P.L., Ivanova E.V. Computer simulation of laser action in the regime of micropulse and reactions of proteins chorioretinal complex for selective and effective action on the retinal pigment epithelium cells. *Laser Medicine*. 2018; 22 (1): 61–65 (In Russ.). DOI: 10.37895/2071-8004-2018-22-1-61-65
 11. Zheltov G.I., Glazkov V.N., Ivanova E.V. Selective effect of laser pulses on retinal pigment epithelium. *Physical basics. ARS-MEDICA*. 2012; 3 (58): 78–85 (In Russ.).
 12. Kachalina G.F., Zheltov G.I., Ivanova E.V. Optimization of operating modes of IRIS Medical IQ 577 laser for selective action onto retinal pigment epithelium. *Ophthalmology Eastern Europe*. 2015; 4 (27): 69–77 (In Russ.).
 13. Takhchidi K.P., Kachalina G.F., Zheltov G.I., Ivanova E.V. New technique of rehabilitation of visual function based on selective influence of short laser pulses on retinal pigment epithelium. *Ophthalmology in Belarus*. 2010; 4 (07): 79–83 (In Russ.).
 14. Volodin P.L., Ivanova E.V., Solomin V.A. Possibilities of modern diagnostic techniques and comp data processing using «FemtoScan» programs for reveal weak thermal injuries in cells of the retinal pigment epithelium. *Laser Medicine*. 2018; 22 (1): 52–56 (In Russ.). DOI: 10.37895/2071-8004-2018-22-1-52-56
 15. Framme C., Schüle G., Brinkmann R., Birngruber R., Roeder J. Fundus Autofluorescence After Selective RPE Laser Treatment. *Ophthalmologie*. 2002; 99 (11): 854–860. DOI: 10.1007/s00347-002-0684-z

REFERENCES

1. van Rijssen T.J., van Dijk E.H.C., Yzer S., Ohno-Matsui K., Keunen J.E.E., Schlingemann R.O., Sivaprasad S., Querques G., Downes S.M., Fauser S., Hoyng C.B., Piccolino F.C., Chhablani J.K., Lai T.Y.Y., Lotery A.J., Larsen M., Holz F.G., Freund K.B., Yannuzzi L.A., Boon C.J.F. Central serous chorioretinopathy: Towards an evidence-based treatment guideline. *Prog Retin Eye Res*. 2019; 73: 100770. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2019.07.003
2. Volodin P.L., Ivanova E.V. Clinical evaluation of individualized and navigated microsecond pulsing laser for acute central serous chorioretinopathy. *Ophthalmic Surgery Lasers and Imaging Retina*. 2020; 51: 512–520. DOI: 10.3928/23258160-20200831-06
3. Volodin P.L., Ivanova E.V., Polyakova E.I., Fomin A.V. Spectral OCT-Angiography in En Face Mode for Detection of Morphological Changes in the Retinal Pigment Epithelium before and after Selective Micro-Pulse Laser Exposure in Patients with Central Serous Chorioretinopathy. *Ophthalmology in Russia*. 2019; 16 (2): 192–201 (In Russ.). DOI: 10.18008/1816-5095-2019-2-192-201

16. Volodin P.L., Ivanova E.V. Selective micropulse individual retinal therapy in the navigation treatment of central serous chorioretinopathy with the selection of parameters by preliminary testing. *Clinical Ophthalmology*. 2023; 23 (3): 112–118 (In Russ.). DOI: 10.32364/2311-7729-2023-23-3-1
17. Volodin P.L., Ivanova E.V., Solomin V.A., Pismenskaya V.A., Khisanfova E.S. The first experience of the use of selective micropulse laser treatment (577 nm) with individual selection of parameters for acute central serous chorioretinopathy. *Practical medicine*. 2017; 2. No. 9 (110): 55–59 (In Russ.).
18. Ivanova E.V., Volodin P.L. Calculations of micropulse mode parameters regarding the age and type of appearance by Fitzpatrick scale for selective micropulse individual retinal therapy (SMIRT) on serial lasers. *Laser Medicine*. 2024; 28 (2):15–26 (In Russ.). DOI: 10.37895/2071-8004-2024-28-2-15-26
19. Ozkaya A., Alkin Z., Ozveren M., Yazici A.T., Taskapili M. The time of resolution and the rate of recurrence in acute central serous chorioretinopathy following spontaneous resolution and low-fluence photodynamic therapy: a case-control study. *Eye (Lond)*. 2016; 30 (7): 1005–1010. DOI: 10.1038/eye.2016.79
20. Lim J.W., Kang S.W., Kim Y., Chung S.E., Lee S.W. Comparative study of patients with central serous chorioretinopathy undergoing focal laser photocoagulation or photodynamic therapy. *Br J Ophthalmol*. 2011; 95 (4): 514–517. DOI: 10.1136/bjo.2010.182121
21. Maltsev D.S., Kulikov A.N., Chhablani J.. Clinical Application of Fluorescein Angiography-Free Navigated Focal Laser Photocoagulation in Central Serous Chorioretinopathy. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina*. 2019; 1 (50). №(4): 118–124. DOI: 10.3928/23258160-20190401-16
22. Gawęcki M. Increase in Central Retinal Edema after Sub-threshold Diode Micropulse Laser Treatment of Chronic Central Serous Chorioretinopathy. *Case Rep Ophthalmol Med*. 2015; 813414. DOI: 10.1155/2015/813414
23. Maruko I., Koizumi H., Hasegawa T., Hisaya A., Iida T. Sub-threshold 577 nm micropulse laser treatment for central serous chorioretinopathy. *PLoS One*. 2017; 29. №12 (8): 0184112. DOI: 10.1371/journal.pone.0184112
24. Ambiya V., Goud A., Mathai A., Rani P.K., Chhablani J. Microsecond yellow laser for subfoveal leaks in central serous chorioretinopathy. *Clin Ophthalmol*. 2016; 11 (10): 1513–1539. DOI: 10.2147/OPHTH.S112431
25. Lanzetta P., Furlan F., Morgante L., Veritti D., Bandello F. Nonvisible subthreshold micropulse diode laser (810 nm) treatment of central serous chorioretinopathy. A pilot study. *Eur. J. Ophthalmol*. 2008; 18: 934–940.
26. Wang J., Quan Y., Dalal R., Palanker D. Comparison of continuous-wave and micropulse modulation in retinal laser therapy. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2017; 58 (11): 4722–4732. DOI: 10.1167/iops.17-2161
27. Ivanova E.V., Volodin P.L. Determination of modes for safe application of selective micro-pulse individual retinal therapy of the macular zone using the modeling based on the theory of activated complex. *Laser Medicine*. 2023; 27 (2): 22–31 (In Russ.). DOI: 10.37895/2071-8004-2023-27-2-22-31
28. Roeder R., Michaud N.A., Flotte T.J., Birngruber R. Response of the retinal pigment epithelium to selective photocoagulation. *Arch Ophthalmol*. 1992; 110 (12): 1786–1792. DOI: 10.1001/archophth.1992.01080240126045
29. Elsner H., Pörksen E., Klatt C., Bunse A., Theisen-Kunde D., Brinkmann R., Birngruber R., Laqua H., Roeder J. Selective retina therapy in patients with central serous chorioretinopathy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2006; 244 (12): 1638–1645. DOI: 10.1007/s00417-006-0368-5
30. Ivanova E.V., Volodin P.L. Development of the selective micropulse individual retinal therapy depends on age and type on the Fitzpatrick scale. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2022; 261 (2): 381–390. DOI: 10.1007/s00417-022-05800-9

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Володин Павел Львович – доктор медицинских наук, зав. отделом лазерной хирургии сетчатки ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1460-9960>

Иванова Елена Владимировна – кандидат медицинских наук, врач-офтальмолог отделения лазерной хирургии сетчатки ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1460-9960>

Author information

Pavel L. Volodin – Dr. Sci.(Med.), head of laser retinal surgery department. S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1460-9960>

Elena V. Ivanova – Cand. Sci. (Med.), ophthalmologist of laser retinal surgery department. S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9044-340>

Приложение

$$\text{Требуемая мощность (Вт)} = \left(\frac{\ln\left(\frac{1}{\text{ВВП90}} - 1\right)}{-2,9} + 0,032 \times \text{Возраст} - 0,68 \times \text{Тип внешности} + 3,1 \right) \times \\ \times \frac{50}{\text{Длительность импульса} \times N^{0,47}}$$

Уравнение (1)

Equation (1)

$$\text{Требуемая длительность микроимпульса (мкс)} = \left(\frac{\ln\left(\frac{1}{\text{ВВП90}} - 1\right)}{-2,9} + 0,032 \times \text{Возраст} - 0,68 \times \text{Тип внешности} + 3,1 \right) \times \\ \times \frac{50}{\text{Длительность импульса} \times N^{0,47}} = (4,42 + 0,032 \times \text{Возраст} - 0,68 \times \text{Тип внешности}) \times \frac{50}{\text{Мощность} \times N^{0,47}}$$

Уравнение (2)

Equation (2)

$$\text{Требуемое количество импульсов в пакете} = \\ = \left(\left(\frac{\ln\left(\frac{1}{\text{ВВП90}} - 1\right)}{-2,9} + 0,032 \times \text{Возраст} - 0,68 \times \text{Тип внешности} + 3,1 \right) \times \frac{50}{\text{Мощность} \times \text{Длительность импульса}} \right)^{2,13} = \\ = \left((4,42 + 0,032 \times \text{Возраст} - 0,68 \times \text{Тип внешности}) \times \frac{50}{\text{Мощность} \times \text{Длительность импульса}} \right)^{2,13}$$

Уравнение (3)

Equation (3)

УДК: 617-089: 615.849.19

DOI: 10.37895/2071-8004-2024-28-4-35-41

Тип статьи: Обзор

ОСОБЕННОСТИ ЗАЖИВЛЕНИЯ РАН, НАНЕСЕННЫХ ЛУЧОМ CO₂-ЛАЗЕРА. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Н.А. Данилин¹, И.В. Курдяев¹, В.А. Дербенев¹, И.Г. Мариничева²¹ ФГБУ «Научно-практический центр лазерной медицины им. О.К. Скобелкина» ФМБА России, Москва, Россия² ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия

Резюме

В статье представлен обзор данных зарубежной и отечественной литературы касательно особенностей течения раневого процесса в лазерной кожной ране на основании морфологических и функциональных исследований. Изучение зарубежного и отечественного опыта позволяет определить оптимальные параметры лечебного воздействия лазерного излучения на кожу.

Ключевые слова: лазерное излучение, микроциркуляция, репаративные процессы в тканях, ревааскуляризация

Для цитирования: Данилин Н.А., Курдяев И.В., Дербенев В.А., Мариничева И.Г. Особенности заживления ран, нанесенных лучом CO₂-лазера. Обзор литературы. *Лазерная медицина*. 2024; 28(4):35–41. <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2024-28-4-35-41>

Контакты: Данилин Н.А., e-mail: danilin_nikolai@mail.ru

HEALING OF THE WOUND CAUSED BY CO₂-LASER BEAM. A LITERATURE REVIEW

Danilin N.A.¹, Kurdyayev I.V.¹, Derbenev V.A.¹, Marinicheva I.G.²¹ Skobelkin State Scientific Center for Laser Medicine, FMBA of Russia, Moscow, Russia² Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

Abstract

The article presents a review and the analysis of data found in the foreign and domestic literature on features of wound healing in laser skin wounds using morphological and functional test findings. Assessment of foreign and domestic experience allows to define optimal parameters for better therapeutic effect of laser light irradiation of the skin.

Keywords: laser radiation, microcirculation, reparative processes in tissues, revascularization

For citation: Danilin N.A., Kurdyayev I.V., Derbenev V.A., Marinicheva I.G. Healing of the wound caused by CO₂-laser light. A literature review. *Laser Medicine*. 2024; 28(4):35–41. [In Russ.]. <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2024-28-4-35-41>

Contacts: Danilin N.A., e-mail: danilin_nikolai@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Исследования взаимодействия лазерного излучения с биологическими тканями и поиск оптимальных возможностей использования лазеров в медицине длятся уже более 50 лет. В связи с постоянным поступательным движением науки вперед накопленные знания в этой области периодически пополняются новыми данными. Результаты разработок многих исследователей как у нас в стране, так и за рубежом показали универсальные возможности лазерного излучения, используемого в медицине, в частности в хирургии. Операции, выполняемые с использованием лазерного скальпеля, стерильны, протекают бескровно с большой точностью и минимальной травматизацией тканей. Все это, конечно, привлекает внимание хирургов многих специальностей.

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ

Вместе с тем, обобщая экспериментальные и клинические данные об использовании лазерного излучения в хирургии, наряду с положительными

свойствами находим и некоторые отрицательные эффекты. По анализу литературных данных, да и по собственному опыту очевидно, что спектр мнений о достоинствах и недостатках лазерной хирургии колеблется от восторженных до резко негативных. В большей степени это связано с различными оценками течения репаративных процессов в тканях после воздействия лазерного излучения. Поэтому все исследования, направленные на изучение взаимодействия лазерного излучения с биологическими тканями, продолжают для полного установления четких границ возможности их клинического применения [1, 2, 3, 4].

Сравнивая взаимодействие луча любой лазерной установки с биологическими тканями, необходимо помнить, что оно существенно отличается от воздействия традиционных хирургических инструментов. Кратерообразный дефект после однократного точечного воздействия, например на кожу, объясняется структурой лазерного луча, так как его плотность мощности не является однородной. В центре луча располагается жгут с наиболее высоким уровнем

энергии, которая концентрически уменьшается к его периферии. Поэтому лазерный луч даже при самой высокой степени фокусировки, рассекая ткань, оставляет полосу коагулированных краев раны. Так происходит, во-первых, за счет термического повреждения кожи рассеивающим теплом из центральной зоны лазерного луча, энергия которой идет на испарение ткани; и во-вторых, за счет воздействия периферической части луча, мощности которой недостаточно для испарения ткани (из-за уменьшения ее от центра к периферии и отражения от наклонных стенок кратера формирующейся раны [5]. На рисунках 1 и 2 а, 2 б, 2 в показано, как д-р Т. Оширо схематически изображает воздействие CO_2 , АИГ и аргонного лазеров на биоткань при размере пятна в 1 мм, выходной мощности в 6 Вт и времени экспозиции в 1 сек.

Нежелательные эффекты лазерного воздействия на ткань, которые заключаются в замедленном

заживлении ран, в основном связаны с тепловым повреждением клеток. Однако следует заметить, что высокая температура луча является лишь следствием взаимодействия светового потока (в видимом или невидимом диапазоне спектра) с биологическим объектом, и влияние лазерного светового потока различных установок и мощностей на тканевые и клеточные структуры требует своих отдельных исследований.

В одной из первых работ [6], посвященных заживлению ран, нанесенных CO_2 -лазером, показаны различия в течении раневого процесса в коже и мышце. Более плотная и содержащая меньше жидкости кожа сильнее повреждается лучом лазера, чем мышца. На основании проведенного исследования сделан вывод, который в дальнейшем получил подтверждение о том, что использовать лазерный скальпель для рассечения кожи нецелесообразно. И эта точка зрения сохранялась довольно долго, около 8–10 лет.

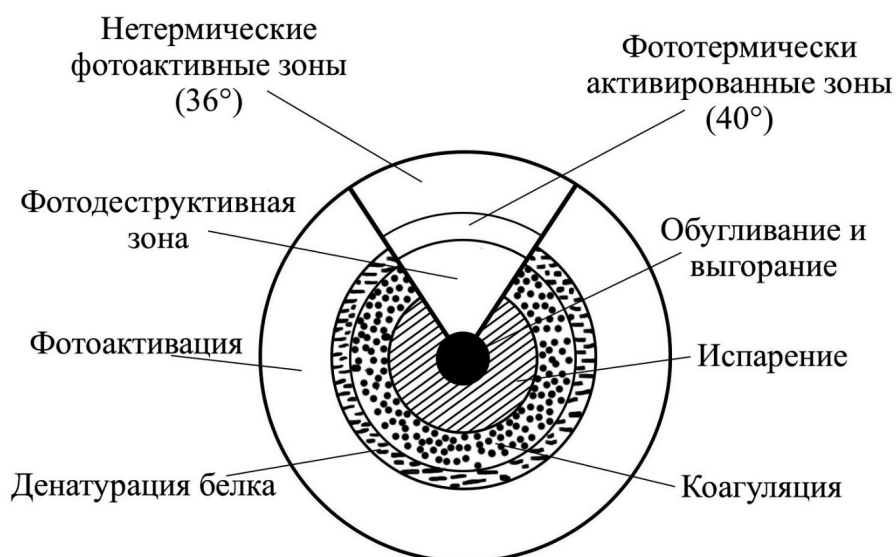


Рис. 1. Одновременное биологическое воздействие лазерного пучка при испарении ткани

Fig. 1. Simultaneous biological effects of laser beam during tissue evaporation

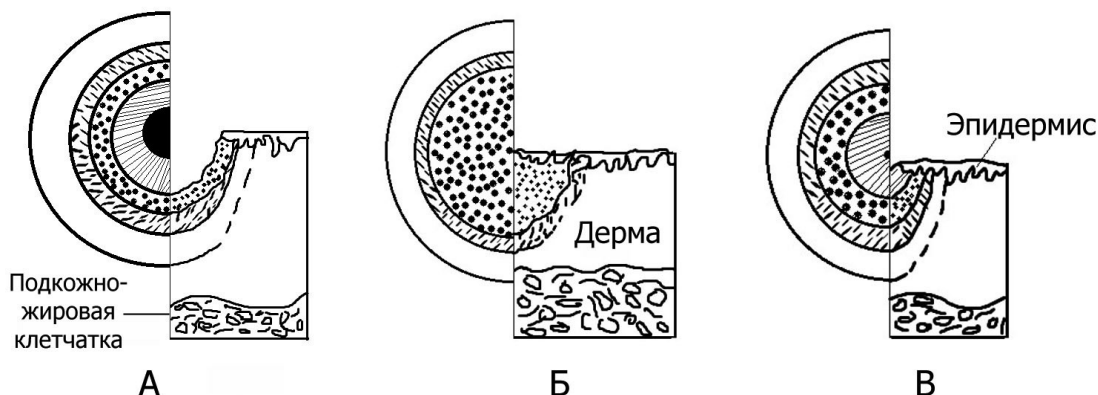


Рис. 2. Схематическое изображение и реальная картина воздействия луча: А – CO_2 , Б – АИГ, В – аргонного лазера при размере пятна 1 мм выходной мощности 6 Вт с временем экспозиции 1 сек

Fig. 2. Schematic representation and the real picture of laser beam impacts: А – CO_2 , Б – АИГ, В – argon lasers with spot size 1 mm, output power 6 W, exposure 1 sec

Вместе с тем объяснить только термическим повреждением замедление заживления лазерных ран кожи нельзя, так как это не вполне отражает механизмы восстановительных процессов в ранах, да и уровень развития лазерной техники в тот период был еще недостаточно высок.

В сравнительном исследовании заживления кожи свиньи после разрезов СО₂-лазером и скальпелем отмечено отсутствие различий в восстановительном процессе в обеих группах в ранние сроки наблюдений. Также было замечено относительно медленное образование коллагена и удлинение фазы миграции эпителия к краям лазерных ран [7, 8].

Применение СО₂-лазера для рассечения кожи в большинстве экспериментальных работ показало, что тензометрические данные таких ран ниже, чем у нанесенных скальпелем, особенно в ранние сроки после вмешательства [9, 10, 11, 12]. В своем исследовании Finestrnbush (1982) тем не менее показывает, что разрезы лазерных ран в процессе заживления прочнее скальпельных вплоть до третьей недели. Это различие в оценках можно объяснить, вероятно, отличием экспериментальных методик и используемой аппаратуры.

Значительное количество работ было посвящено выяснению причин замедленного заживления лазерных ран [13, 14, 15, 16, 17]. Увеличение сроков заживления лазерных ран может быть объяснено замедлением синтеза коллагена и эпителизации, отсутствием воспалительной реакции на относительно инертный, поврежденный воздействием высокой температуры коллаген, который не имеет хемотаксических свойств, присущих интактному коллагену, а если и имеет, то недостаточно.

Гистологическая картина заключительной стадии заживления ран, нанесенных СО₂-лазером на кожу крыс, показала наличие резорбтивных гранул вокруг карбонизированных, то есть обугленных остатков тканей. Резорбтивные гранулемы, некротическая и карбонизированная пленка в ранах являются причиной большого фиброза и, как следствие, замедления процесса заживления. Необходимо тщательно удалять обугленные частицы ткани из раны [18, 19, 20].

При изучении репаративного процесса в экспериментальных ранах, нанесенных различными хирургическими инструментами, большинство исследователей оценивают динамику заживления на основании клинической и морфологической картины. Что же касается функциональных характеристик (парциальное давление кислорода, скорость кровотока в тканях, планиметрия ран), позволяющих судить о количественной стороне процесса заживления раны и особенностях ее течения, то таких комплексных исследований проведено недостаточно, и в литературе по этому поводу встречаются лишь отдельные сообщения.

Сравнительный анализ реваскуляризации полнослойных кожных трансплантатов на ложе,

сформированных скальпелем и СО₂-лазером, после введения красителя в сосудистое русло подопытного животного показал задержку реваскуляризации лоскута на ложе, сформированного лазером на 5–8-е сутки после операции. Однако это не повлияло на жизнеспособность трансплантата. Отмечается, что решающим моментом в процессе реваскуляризации лоскута является качество воспринимающего ложа [21, 22, 23].

Данные о динамике контракции лазерных и скальпельных ран свидетельствовали о замедлении заживления лазерных. Это объяснялось термическим повреждением эпидермиса и формированием плотного струпа на раневой поверхности, препятствующего контракции и эпителизации. Площадь лазерной раны была меньше скальпельной за счет коагуляции краев раны и отсутствия ложного изъяна, который возникает за счет растяжения краев раны мышцами подкожного слоя. Эпителизация раневой поверхности замедлялась примерно на сутки. Замедление образования эпителиального клина свидетельствовало о повреждении эпителия, которое становилось более заметным через 2–4 дня после операции. Вместе с тем заживление экспериментальных ран, нанесенных СО₂-лазером различной мощности, происходит по общим закономерностям репаративной регенерации. Срок и характер заживления ран зависит от уровня мощности доставленной к тканям лазерной энергии. С увеличением мощности воздействия излучения увеличивается зона паранекротических изменений, от которых зависят сроки регенерации кожных ран [24].

По мнению В. Н. Таланкина (1984), особенности репаративного процесса лазерных и скальпельных ран заключаются в том, что в отличие от часто встречающегося заживления вторичным натяжением может иметь место репаративный процесс, связанный со снижением или отсутствием хемотаксической активности самой поврежденной ткани или отсутствием микроорганизмов, что характеризуется выпадением фазы лейкоцитарного расплавления поврежденной ткани. Заживление в этих случаях происходит быстрее. В качестве резорбирующей некротическую ткань системы выступает система мононуклеарных фагоцитов, способная действовать одновременно с разрыванием процессов инкапсуляции. Этот путь соответствует заживлению без воспаления, то есть первичным натяжением [25].

Экспериментальные исследования на крысах и кроликах показали, что образование зон некроза и некробиоза наступает вследствие испарения тканевой жидкости и коагуляции клеточных и тканевых элементов, а величина его связана с незначительным распространением тепла в стороны и зависит от мощности лазерного излучения и вида ткани. В зоне некроза происходит коагуляция стенок сосудов с образованием коагуляционного тромба, который закупоривает сосуды, обеспечивая надежный гемостаз. Рассечение тканей скальпелем можно выполнять быстрее, чем

лучом лазера, однако оно всегда сопровождается кровотечением и образованием послеоперационных гематом.

Начальная фаза заживления ран после воздействия лазера характеризуется обязательным формированием на поверхности раны слоя коагуляционного некроза, лежащего в основе образования лазерного струпа. Известно, что инфракрасное излучение СО₂-лазера полностью поглощается тканевой и внутритканевой жидкостью, которая при действии на нее лазерного излучения испаряется, а сухой остаток сгорает, благодаря чему происходит рассечение тканей.

Применение методики фотогидравлической препаровки существенно изменяет механизм лазерной диссекции, уменьшая зону некроза и парабиоза в два раза. В наружных слоях лазерного струпа образуются полости, разделенные деформированными остатками клеток и полностью нежизнеспособные. В глубине ткани отсутствуют циркуляторные нарушения, что свидетельствует о строго ограниченной глубине проникновения лазерного луча. Переходные зоны между некротическими и сохранными тканями отсутствуют. В лазерных ранах в глубине могут длительно сохраняться «глубьки» коагулированных тканей в окружении макрофагов [26].

В. И. Елисеенко считает, что «...для лазерных ран стереотипность экссудативной воспалительно-репаративной реакции изменяется и характеризуется ранней активацией пролиферации клеточных элементов макрофагального и фибробластического ряда на границе поврежденных и интактных тканей. Большое значение в процессе заживления лазерных ран имеет присутствие клеток системы мононуклеарных фагоцитов – макрофагов. Их функциональная роль видится в программировании всего хода заживления лазерных ран. Не отмечается формирования демаркационной нейтрофильной инфильтрации, характерной для заживления хирургических ран, нанесенных скальпелем или электроножом» [27].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Обобщая результаты экспериментальных работ по использованию лазерного излучения высокой интенсивности в кожно-пластической хирургии, можно выделить положительные стороны этих исследований:

стерильность – снижение риска послеоперационных осложнений;

гемостатичность – уменьшение опасности образования гематом в послеоперационном периоде, что особенно важно при трансплантации кожных лоскутов;

хороший обзор операционного поля.

Недостаток при использовании лазера – это уменьшение скорости заживления ран, по мнению многих авторов, вследствие замедления образования коллагена и эпителизации. Это подтверждается снижением тензометрических свойств лазерных ран. Замедление

репаративных процессов лазерных ран может быть объяснено также ингибированием фазы экссудативного воспаления в результате уменьшения миграции в зону повреждения макрофагов, которые, как известно, выделяют факторы, участвующие в клеточных реакциях в ходе репаративного процесса [28]. Однако это предположение не подтверждено соответствующими экспериментальными исследованиями. Следует отметить, что замедление восстановительных процессов в ранах, нанесенных лазером, более характерно для эпителизованных поверхностей.

ВЫВОДЫ

В настоящее время в большинстве стран наблюдается интенсивное внедрение лазерной техники в медицину. Уникальные свойства лазерного излучения – бескровно рассекать ткани, выпаривать и стерилизовать патологические очаги и раневые поверхности, коагулировать сосуды и оказывать биостимулирующее действие на ткани – открыли широкие возможности его применения в различных областях хирургии [29, 30, 31, 32, 33].

Вместе с тем накопившиеся экспериментальные и клинические данные указывают на не всегда благоприятные исходы лазерной хирургии. Это связано с недостаточно полным изучением реакции тканей на лазерное воздействие и заставляет более критично оценивать возможности и недостатки использования лазеров в лечебной практике.

«Период слепого увлечения лазерами прошел, наступило время трезво оценить достоинства и недостатки лазерной хирургии, определить четкие границы клинического применения лазеров», – пишет G. A. Dixon [34].

Основными направлениями исследований лазерных методик в настоящее время являются:

– изучение взаимодействия лазерного излучения с биологическими структурами на основе новейших достижений науки;

– поиск новых форм и сфер применения лазеров, исключающих или уменьшающих негативные стороны воздействия лазерного излучения.

Большой интерес в этом плане имеет применение различных источников лазерного излучения в пластической хирургии и косметологии. По понятным причинам возможность использования лазеров представляет определенный интерес для лазерных хирургов. И это вполне обоснованно, что именно этим аспектам применения лазеров в медицине уделяется большое внимание.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Воздействие лазерного излучения на биологические объекты, и в частности, на кожу, – специфическое, отличное от всех других известных видов воздействия. Специфичность действия лазерного излучения на ткани зависит от мощности лазерного излучения,

энергии и ее плотности на единицу облучаемой поверхности, длины волны излучения, времени воздействия и т.д., а также от особенностей самих биологических тканей: морфологической структуры, содержания пигмента, плотности и особенностей васкуляризации.

Противоречивые данные о преимуществах и отрицательных сторонах лазерной хирургии, малое количество исследований с использованием функциональных методов и недостаточно полное изучение патофизиологических механизмов течения раневого процесса после воздействия лазерного излучения высокой интенсивности на биологические структуры, отсутствие четких методических рекомендаций по использованию различных источников лазерного излучения, отсутствие информации и в то же время перспективность использования лазеров в хирургической косметологии – все это послужило причиной для проведения анализа зарубежной и отечественной литературы.

ЛИТЕРАТУРА

- Брехов Е.И., Елисеенко В.И., Калинин В.В. Применение CO₂-лазера при операциях на коже. *Электронная промышленность*. 1984; (10): 53–56.
- Гамалея Н.Ф. О механизме биологического действия излучения лазеров. Всесоюзный симпозиум «Биологическое и противоопухолевое действие излучения лазеров». Тез. докл. М., 1971; 3–9.
- Dixon J.A. Current Laser Application in General Surgery.. *Annals, of Surg.* 1988; 207 (4): 355–372.
- Дубенский В.В., Дубенский В.В., Хомулло Г.В., Туманова К.О. Морфологические особенности экспериментальных ран у животных, нанесенных различными методами оперативного воздействия. *Современные проблемы дерматовенерологии, иммунологии и врачебной косметологии*. 2012; 1(20): 7–12.
- McKenzie A.L., Carruth J.A. Laser in syrgery and medicine. *Phys. Med. and Biol.* 1984; 29 (6): 619–641.
- Hall R.R., Roach A.D., Beker E. et al. Incision of tissue by carbon dioxide laser. *Nature*. 1971; 252 (5306): 131–132.
- Norris C.W., Mullorky M.B. Experimental skin incision made with the CO₂ laser. *Laryngoscope*. 1982; 92 (4): 416–419.
- Горбатова Н.Е., Золотов С.А., Симановский Я.О., Никифоров С.М., Голубев С.В., Алимпиев С.С., Гейниц А.В., Елисеенко В.И., Станкова Н.В. Экспериментальная сравнительная оценка эффективности режимов абляции различной длительности импульсами CO₂-лазеров на кожных покровах мини-свиней для целей лазерной дерматологии. *Биомедицина*. 2013; (4): 90–106.
- Белоглядова Н.И. Сравнительная характеристика приживления ауто- и гомотрансплантата кожи в эксперименте. *Труды Курского мед. ин-та*. Курск, 1959; 149–152.
- Buell B.R., Skuller D.E. Comparison of tensile strength in CO₂ laser and scalpel skin incisions. *Arch. Otoloryngol.* 1983; 109: 465–467.
- Липова Е.В., Рахматулина М.Р., Глазко И.И., Чекмарев А.С. Лазерные и радиоволновые технологии в дерматовенерологии и косметологии. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2020; 65 (5): 68–76.
- Шептий О.В. Биологические эффекты взаимодействия лазерного излучения с кожей. *Вестник эстетической медицины*. 2011; 10 (2): 51–57.
- Cochrane L.P., Beacon J.P., Creasey G.H. et al. Wound healing after laser surgery: an experimental study. *Br. J. Surg.* 1980; 67: 740–743.
- Kamat B. Cutaneous tissue repair following CO₂-laser irradiation. *J. Invest. Dermatol.* 1986; (87): 268–271.
- Варев Г.А., Кудрин К.Г., Давыдов Д.В., Решетов И.В., Кортунов В.Н., Коновалов А.Н. Выбор режимов работы хирургического CO₂-лазера в реконструктивной пластической хирургии. *Анналы пластической, реконструктивной и эстетической хирургии*. 2017; (1): 50–56.
- Подурар С.А., Горбатова Н.Е., Брянцев А.В., Дуванский В.А., Тертычный А.С., Варев Г.А., Никифоров С.М., Симановский Я.О. Сравнительное экспериментальное исследование воздействия «синего» (λ = 450 нм) и импульсно-периодического CO₂ (λ = 10,6 мкм) лазерного излучения на кожу лабораторных животных. *Лазерная медицина*. 2023; 27 (4): 16–25.
- Мартов А.Г., Баранов А.В., Бактемиров Р.Г., Альпин Д.М. Применение лазерного излучения в урологии. *Лазерная медицина*. 2020; 24 (1): 57–62.
- Nakagawa H., Tan. O.T. Ultrastructural changes in human skin after exposure to a pulsed laser. *J. Invest, dermatol.* 1985; 84 (5): 396–400.
- Шептий О.В., Круглова Л.С., Жукова О.В., Эктова Т.В., Ракша Д.А., Шматова А.А. Высокоэнергетическое лазерное излучение в дерматологии и косметологии. *Российский журнал кожных и венерических болезней*. 2012; (6): 39–43.
- Жижин Н.К., Колбас Ю.Ю., Кузнецов Е.В. Использование лазеров в хирургии. *Фотоника*. 2020; 14 (3): 282–292.
- Богатов В.В., Давыдов Б.Н., Соловьев В.А. Применение ОКТ «Скальпель-1» при свободной трансплантации кожи и местнопластических операциях. *Применение методов и средств лазерной технологии в биологии и медицине*. Киев. 1981.
- Sekan V., Brosman M., Zboja S. et al. Effect of laser rays on skin and laser for plastic surgery uses. *Acta. Chirurg. Plast.* 1986; 28 (1): 1–6.
- Чумакова А.А., Вахонина Р.К., Ключкова С.В. Методы светотерапии при репаративной регенерации кожных покровов. В сборнике: Клинико-морфологические аспекты фундаментальных и прикладных медицинских исследований. материалы IV Международной научной конференции. Воронеж, 2023: 97–104.
- Данилин Н.А., Ворошкевич А.А., Елесеенко В.И. и др. Лазеры в кожно-пластической хирургии. *Актуальные проблемы лазерной медицины*. М., 1990: 89–92.
- Таланкин В.Н., Боцманов К.В. О путях заживления ран, нанесенных углекислотным лазером. *Арх. пат.* 1984; (9): 48–56.
- Скобелкин О.К., Брехов Е.И., Давыдов Б.Н. и др., Способ диссекции тканей. Авт. свид. № 628647 от 03.03.1977.
- Елесеенко В.И. Морфология репаративных процессов при воздействии непрерывного лазерного излучения. *Сов. мед.* 1987. С. 20–27.
- Саркисов Д.С. Регенерация и ее клиническое значение. М.: Медицина, 1970: 284 с.

29. Жижин Н.К., Колбас Ю.Ю., Кузнецов Е. В. Использование лазеров в хирургии. *Фотоника*. 2020; 14 (3): 282–292.
30. Лазер – главный инструмент медиков и косметологов. *Пластическая хирургия и косметология*. 2013; (1): 168.
31. Касьянов Д.А. Лазерные технологии и их применение в медицине: предпосылки и влияния. *StudNet*. 2022; 5 (6): 211.
32. Зайцев Н.С., Илюхин Р.В. Этапы развития пластической хирургии. *Научный Лидер*. 2024; 4 (154): 120–129.
33. Чумакова А.А., Вахонина Р.К., Клочкова С.В. Методы светотерапии при стимуляции регенеративных процессов кожи. В сборнике: II Международный молодежный морфологический симпозиум. Сборник научных трудов симпозиума. Воронеж, 2024: 104–112.
34. Dixon J.A. Lasers in surgery. *Current Probl. Surg.* 1984; 21 (9): 31–35.

REFERENCES

1. Brekhov E.I., Yeliseenko V.I., Kalinnikov V.V. Application of CO₂ laser in skin surgery. *Elektronnaya promyshlennost*. 1984; (10): 53–56.
2. Gamaleya N.F. On the mechanism of biological action of laser radiation. All-Union symposium "Biological and antitumor action of laser radiation". *Report summary*. Moscow, 1971; 3–9.
3. Dixon J.A. Current Laser Application in General Surgery. *Annals of Surg.* 1988; 207 (4): 355–372.
4. Dubensky V.V., Dubensky V.V., Khomullo G.V., Tumanova K.O. Morphological features of experimental wounds in animals inflicted by various methods of surgical intervention. *Sovremennyye problemy dermatovenerologii, immunologii i vrachebnoy kosmetologii*. 2012; 1(20): 7–12.
5. McKenzie A.L., Carruth J.A. Laser in surgery and medicine. *Phys. Med. and Biol.* 1984; 29 (6): 619–641.
6. Hall R.R., Roach A.D., Beker E. et al. Incision of tissue by carbon dioxide laser. *Nature*. 1971; 252 (5306): 131–132.
7. Norris C.W., Mullorky M.B. Experimental skin incision made with the CO₂ laser. *Laryngoscope*. 1982; 92 (4): 416–419.
8. Gorbatoва N.E., Zolotov S.A., Simanovsky Ya.O., Nikiforov S.M., Golubev S.V., Alimpiev S.S., Geynits A.V., Eliseenko V.I., Stankova N.V. Experimental comparative evaluation of the effectiveness of ablation modes of different durations of CO₂ laser pulses on the skin of mini-pigs for the purposes of laser dermabrasion. *Biomedicina*. 2013; (4): 90–106.
9. Beloglyadova N.I. Comparative characteristics of the engraftment of auto and homotransplant skin in the experiment. *Trudy Kurskogo med. Instituta*. Kursk. 1959: 149–152.
10. Buell B.R., Skuller D.E. Comparison of tensile strength in CO₂ laser and scalpel skin incisions. *Arch. Otolaryngol.* 1983; 109: 465–467.
11. Lipova E.V., Rakhmatulina M.R., Glazko I.I., Chekmarev A.S. Laser and radio wave technologies in dermatovenerology and cosmetology. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost*. 2020; 65 (5): 68–76.
12. Sheptiy O.V. Biological effects of the interaction of laser radiation with the skin. *Bulletin of Aesthetic Medicine*. 2011; 10 (2): 51–57.
13. Cochrane L.P., Beacon J.P., Creasey G.H. et al. Wound healing after laser surgery: an experimental study. *Br. J. Surg.* 1980; 67: 740–743.
14. Kamat B. Cutaneous tissue repair following CO₂-laser irradiation. *J. Invest. Dermatol.* 1986; (87): 268–271.
15. Varev G.A., Kudrin K.G., Davydov D.V., Reshetov I.V., Kortunov V.N., Kononov A.N. Selection of operating modes of a surgical CO₂ laser in reconstructive plastic surgery. *Annaly plasticheskoy, rekonstruktivnoy i esteticheskoy khirurgii*. 2017; (1): 50–56.
16. Podurar S.A., Gorbatoва N.E., Bryancev A.V., Duvansky V.A., Tertychny A.S., Varev G.A., Nikiforov S.M., Simanovsky Ya.O. Comparative experimental study of the effect of "blue" ($\lambda = 450$ nm) and pulsed-periodic CO₂ ($\lambda = 10.6$ μ m) laser radiation on the skin of laboratory animals. *Lazernaya medicina*. 2023; 27 (4): 16–25.
17. Martov A.G., Baranov A.V., Baktemirov R.G., Alpin D.M. Use of laser radiation in urology. *Lazernaya medicina*. 2020; 24 (1): 57–62.
18. Nakagawa H., Tan. O.T. Ultrastructural changes in human skin after exposure to a pulsed laser. *J. Invest. dermatol.* 1985; 84 (5): 396–400.
19. Sheptiy O.V., Kruglova L.S., Zhukova O.V., Ektova T.V., Raksha D.A., Shmatova A.A. High-energy laser radiation in dermatology and cosmetology. *Rossiyskiy zhurnal kozhnykh i venericheskikh bolezney*. 2012; (6): 39–43.
20. Zhizhin N.K., Kolbas Yu.Yu., Kuznetsov E.V. Use of lasers in surgery. *Photonika*. 2020; 14 (3): 282–292.
21. Bogatov V.V., Davydov B.N., Soloviev V.A. Application of OCT "Scalpel-1" in free skin transplantation and local plastic surgeries. *Primeneniye metodov i sredstv lazernoy tekhnologii v biologii i meditsine*. Kiev. 1981.
22. Sekan V., Brosman M., Zboja S. et al. Effect of laser rays on skin and laser for plastic surgery uses. *Acta. Chirurg. Plast.* 1986; 28 (1): 1–6.
23. Chumakova A.A., Vakhonina R.K., Klochkova S.V. Light therapy methods for reparative regeneration of the skin// In the collection: Clinical and morphological aspects of fundamental and applied medical research. *Proceedings of the IV International Scientific Conference*. Voronezh, 2023: 97–104.
24. Danilin N.A., Voroshkevich A.A., Elesenko V.I. et al. Lasers in skin-plastic surgery. *Aktual'nyye problemy lazernoy meditsini*. Moscow, 1990: 89–92.
25. Talankin V.N., Botsmanov K.V. On the healing paths of wounds caused by a carbon dioxide laser. *Arch. patent*. –1984.; 9: 48–56.
26. Skobelkin O.K., Brekhov E.I., Davydov B.N. and others, Method of tissue dissection. Author's certificate No. 628647 dated 03.03.1977.
27. Yeliseenko V.I. Morphology of reparative processes under the influence of continuous laser radiation. *Sov.med.* 1987. P. 20–27.
28. Sarkisov D.S. Regeneration and its clinical significance. Moscow, Medicine, 1970: 284.
29. Zhizhin N.K., Kolbas Yu.Yu., Kuznetsov E.V. Use of lasers in surgery. *Fotonika*. 2020; 14 (3): 282–292.
30. Laser – the main tool of doctors and cosmetologists. *Plasticheskaya khirurgiya i kosmetologiya*. 2013; (1): 168.
31. Kasyanov D.A. Laser technologies and their application in medicine: background and influence. *StudNet*. 2022; 5 (6): 211.
32. Zaitsev N.S., Ilyukhin R.V. Stages of development of plastic surgery. *Nauchnyy Lider*. 2024; 4 (154): 120–129.
33. Chumakova A.A., Vakhonina R.K., Klochkova S.V. Methods of light therapy in stimulation of skin regenerative processes.

In the collection: II International Youth Morphological Symposium. Collection of scientific papers of the symposium. Voronezh, 2024: 104–112.

34. Dixon J.A. Lasers in surgery. *Current Probl. Surg.* 1984; 21 (9): 31–35.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

Authors declare no conflict of interests.

Информация об авторах

Данилин Николай Алексеевич – доктор медицинских наук, профессор, отделение лазерных технологий в хирургии ФГБУ «Научно-практический центр лазерной медицины им. О.К. Скобелкина» ФМБА России; e-mail: danilin_nikolai@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2937-8173>

Курдяев Игорь Владиславович – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, отделение лазерных технологий в хирургии ФГБУ «Научно-практический центр лазерной медицины им. О.К. Скобелкина» ФМБА России; e-mail: ochen_rad@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6045-4456>

Дербенев Валентин Аркадьевич – доктор медицинских наук, профессор, руководитель отделения лазерных технологий в хирургии ФГБУ «Научно-

практический центр лазерной медицины им. О.К. Скобелкина» ФМБА России; e-mail: profDerbenev@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1673-7800>

Мариничева Ирина Геннадьевна – доктор медицинских наук, профессор, ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, кафедра пластической, реконструктивной хирургии, косметологии и клеточных технологий ФДПО; e-mail: marinicheva-ig@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8660-7783>

Information about the authors

Nikolai A. Danilin – Dr. Sci. (Med.), Professor, Department of Laser Technologies in Surgery in Skobelkin State Scientific Center for Laser Medicine of FMBA of Russia; e-mail: danilin_nikolai@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2937-8173>

Igor V. Kurdyayev – Cand. Sci. (Med.), Department of Laser Technologies in Surgery in Skobelkin State Scientific Center for Laser Medicine of FMBA of Russia; e-mail: ochen_rad@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6045-4456>

Valentin A. Derbenev – Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Laser Technologies in Surgery in "Skobelkin State Scientific Center for Laser Medicine of FMBA of Russia"; e-mail: profDerbenev@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1673-7800>

Irina G. Marinicheva – Dr. Sci. (Med.), Professor, Pirogov Russian National Research Medical University, Department of Plastic, Reconstructive Surgery, Cosmetology and Cell Technologies FDPO; e-mail: marinicheva-ig@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8660-7783>

УДК: 616.367-006 (075.8):616.36-008.5

DOI: 10.37895/2071-8004-2024-28-4-42-50

Тип статьи: Клиническое наблюдение

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПЕЧЕНИ У ПАЦИЕНТА С СИНДРОМОМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЖЕЛТУХИ НА ФОНЕ ОПУХОЛИ КЛАЦКИНА (КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ)

Д.С. Сумин^{1,2}, А.В. Мамошин^{2,3}, К.Ю. Кандурова², В.Н. Приземин², А.В. Дунаев², Е.В. Потапова²

¹ БУЗ Орловской области «Орловская областная клиническая больница», Орел, Россия

² ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», Орел, Россия

³ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского» Минздрава России, Москва, Россия

Резюме

Одним из заболеваний билиарной зоны, сопровождающихся синдромом механической желтухи, является воротная холангиокарцинома, или опухоль Клацкина. В работе представлен клинический пример оценки функционального состояния печени у пациента с воротной холангиокарциномой с использованием метода клиновидной дегидратации. Пациенту с диагнозом «Опухоль Клацкина, тип III по Bismuth-Corlette. Механическая желтуха» произведено первичное рентгенохирургическое пособие – раздельная наружная чрескожная чреспеченочная холангиостомия правого и левого долевого протоков под ультразвуковым и рентгенотелевизионным контролем.

В момент формирования первичного чрескожного доступа в желчевыводящие пути и в последующем каждые трое суток выполнялось исследование кристаллографических свойств желчи правой и левой долей печени с использованием метода клиновидной дегидратации. Полученные результаты показали, что в левой доле печени наблюдаются более тяжелые функциональные нарушения в сравнении с правой долей. Полученная информация с учетом клинико-лабораторных и инструментальных данных была использована при выборе последующей тактики ведения и оперативного лечения пациента. Представленное клиническое наблюдение указывает на эффективность применения метода клиновидной дегидратации в динамической оценке метаболизма печени и его перспективное использование в алгоритме лечения пациентов с механической желтухой на фоне воротной холангиокарциномы.

Ключевые слова: воротная холангиокарцинома, механическая желтуха, минимально инвазивные технологии, клиновидная дегидратация, функциональное состояние печени

Для цитирования: Сумин Д.С., Мамошин А.В., Кандурова К.Ю., Приземин В.Н., Дунаев А.В., Потапова Е.В. Оценка функционального состояния печени у пациента с синдромом механической желтухи на фоне опухоли Клацкина (клиническое наблюдение). *Лазерная медицина*. 2024; 28(4):42–50. <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2024-28-4-42-50>

Контакты: Сумин Д.С., e-mail: dm.s.sumin@gmail.com

ASSESSMENT OF THE LIVER FUNCTIONAL STATE IN A PATIENT WITH OBSTRUCTIVE JAUNDICE ASSOCIATED WITH THE KLATSKIN TUMOR (CLINICAL OBSERVATION)

Sumin D.S.^{1,2}, Mamoshin A.V.^{1,3}, Kandurova K.Y.², Prizemin V.N.², Dunaev A.V.², Potapova E.V.²

¹ Orel Regional Clinical Hospital, Orel, Russia

² Orel State University, Orel, Russia

³ National Medical Research Center of Surgery named after A.V. Vishnevsky, Moscow, Russia

Abstract

One of the diseases of the biliary area accompanied with the obstructive jaundice syndrome is a portal cholangiocarcinoma or the Klatskin tumor. The authors assess the liver functional state in a patient with portal cholangiocarcinoma using the wedge-shaped dehydration. After diagnosing the Klatskin tumor type III by the Bismuth-Corlette scale and obstructive jaundice, the patient underwent separate external percutaneous transhepatic cholangiostomy of the right and left hepatic ducts under ultrasound and X-ray control. While making the primary percutaneous access to the biliary tract, and every three days after, the researchers studied crystallographic properties of the bile from the right and left liver lobes using the wedge-shaped dehydration method. This examination showed that the left lobe of the liver had more severe dysfunction disorders than the right one. The obtained information, laboratory and instrumental findings were used to choose further management tactics and surgical modality in the described patient. The presented clinical case demonstrates the effectiveness of wedge-shaped dehydration in the dynamic assessment of liver metabolism and a possible effective application of the discussed technique in the management algorithm of patients with obstructive jaundice associated with a portal cholangiocarcinoma.

Keywords: portal cholangiocarcinoma, obstructive jaundice, minimally invasive technologies, wedge-shaped dehydration, liver functional state

For citation: Sumin D.S., Mamoshin A.V., Kandurova K.Y., Prizemin V.N., Dunaev A.V., Potapova E.V. Assessment of the liver functional state in a patient with obstructive jaundice associated with the Klatskin tumor (Clinical observation). *Laser Medicine*. 2024; 28(4):42–50. [In Russ.]. <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2024-28-4-42-50>

Contacts: Sumin D.S., e-mail: dm.s.sumin@gmail.com

ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно регистрируется увеличение числа пациентов с обструкцией желчевыводящих путей, обусловленной различной патологией органов гепатопанкреатодуоденальной зоны (ГПБЗ) [1–4]. К основным причинам развития синдрома механической желтухи (МЖ) относятся: холелитиаз (7,7–40%), рак головки поджелудочной железы (30–87,2%), рак внепеченочных желчных протоков (10–12%) и рак большого сосочка двенадцатиперстной кишки (1–2%) [5–8].

Обструкция желчевыводящих путей является причиной развития дисфункции гепатоцитов и ведет к нарушению детоксикационной, синтетической, выделительной и других функций печени, вследствие чего развиваются патологические изменения в организме, приводящие к функциональным и морфологическим нарушениям печени и других жизненно важных органов [9–11]. Нарушение функционального состояния печени с развитием печеночной недостаточности (ПН) в значительной степени определяет неудовлетворительные результаты проводимого оперативного лечения в данной группе пациентов [12–15].

Такое грозное осложнение, как ПН, в той или иной степени развивается у всех пациентов с заболеваниями органов ГПБЗ, осложненными синдромом МЖ, и характеризуется нарушением одной, нескольких или одновременно всех функций печени [13, 16]. Независимо от степени тяжести синдрома МЖ отмечается нарастание активности ферментов цитолиза параллельно гипербилирубинемии [15, 17]. Затяжное течение синдрома МЖ со значимым повышением показателей уровня общего билирубина, невзирая на осуществление мероприятий, направленных на ликвидацию обтурационного холестаза, усугубляется развитием каскада патологических процессов: печеночной и почечной недостаточности, тромбгеморрагического синдрома, холемиического кровотечения, гнойного холангита, холангиогенных абсцессов печени, дисбиоза кишки и т.д., способствующих развитию полиорганной недостаточности [18, 19]. Все эти факторы повышает риск развития необратимой перестройки функционального состояния печеночной паренхимы, которая в ряде клинических ситуаций продолжает прогрессировать, приводя к летальному исходу [18, 20].

Одним из заболеваний ГПБЗ, сопровождающимся синдромом МЖ, является воротная холангиокарцинома (ВХ), или опухоль Клацкина. Данный подвид холангиокарциномы возникает из клеток слизистой оболочки желчных протоков от уровня слияния пузырного протока и общего печеночного протока до деления первого порядка общего желчного протока [21]. До 20% всех новообразований печени и до 50–60% рака желчных протоков занимает ВХ [22]. Характеризуясь в большинстве случаев скрытым течением, ВХ диагностируется преимущественно при полном блоке уровня конfluence долевых печеночных желчных протоков,

проявляющимся МЖ [22]. Летальность при ВХ высока и определяется появлением клинических симптомов на поздних стадиях, многоэтапностью диагностического поиска, а средняя продолжительность жизни пациентов без оперативного вмешательства варьирует в пределах 6 месяцев [1, 2]. Хирургическое лечение является единственным методом лечения, которое обеспечивает наилучшую долгосрочную выживаемость [7, 16, 23, 24]. Определение объема радикального хирургического лечения зависит не только от критериев резектабельности ВХ [16, 19], важна также оценка функционального состояния печеночной паренхимы, поскольку эти данные могут кардинально изменить лечебную тактику [9, 17].

На современном этапе комплексная диагностика функционального состояния печени основывается на клиническо-лабораторных данных, таких как длительность и выраженность желтушности кожных покровов, тяжесть энцефалопатии, повышение в крови содержания билирубина и его фракций, аспартатаминотрансферазы, аланинаминотрансферазы, γ -глутамилтрансферазы, лактатдегидрогеназы, щелочной фосфатазы, холестерина, желчных кислот, фосфолипидов, β -липопротеидов, 5-нуклеотидазы [9, 25, 26]. Результаты широко используемых методов оценки функционального состояния печени на современном этапе не всегда коррелируют с длительностью развития данного заболевания и степенью тяжести поражения печеночной паренхимы [17, 27].

Пациентов с ВХ характеризует блокада желчеоттока в зоне конfluence печеночных протоков и ранним разобщением билиарного тракта правой и левой долей печени, что влечет за собой различную степень функционального нарушения печеночной паренхимы в правой и в левой половинах [21, 28]. Этот факт призывает к более углубленному поиску диагностических критериев в оценке функционального состояния печени как в целом, так и отдельно в каждой из долей.

Одним из путей решения данного вопроса в современной клинической практике является использование метода клиновидной дегидратации.

Клиновидная дегидратация (КлДГ) – это метод исследования, в основе которого лежит качественная оценка анализа морфологических изменений биологических жидкостей, которые представляют собой сложные мультидисперсные неклоточные структуры организма с нестабильными связями между ее компонентами и различными типами устойчивых колебаний параметров, таких как физико-химические, биохимические и морфологические [27]. Процесс формирования твердой фазы биологической жидкости с применением морфологического анализа позволяет проводить качественную оценку взаимосвязей между структурами, а также оценивать наличие веществ, которые содержатся в биологических жидкостях [29]. В основе механизма формирования определенной структуры капли биологической жидкости при дегидратации



Рис. 1. Холангиограмма. Раздельная наружная чрескожная чреспеченочная холангиостомия правого и левого долевых протоков

Fig. 1. Cholangiogram. Separate external percutaneous transhepatic cholangiostomy of the right and left hepatic ducts

лежит феномен комплекса физических процессов самоорганизации [14, 27]. Итогом дегидратации является образование зоны органических веществ в краевой области капли и зоны кристаллизации солей в центральной области [30]. Аналитическая трактовка результатов процесса кристаллизации, основанного на принципах самоорганизации биологических жидкостей, лежит в основе диагностической оценки при патологических состояниях [31, 32]. Метод КЛДГ биологических жидкостей активно применяется в клинической практике ввиду высокой диагностической ценности. Кроме того, данный метод обладает большим потенциалом для развития новых диагностических направлений в клинической деятельности [33, 34].

С целью иллюстрации возможностей КЛДГ в оценке функционального состояния печеночной паренхимы у пациента с опухолью Клацкина, осложненной синдромом МЖ, приводим собственное клиническое наблюдение.

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Пациент К., 66 лет, описывает ухудшение самочувствия с 12.03.2022 г., когда стали беспокоить периодические ноющие боли в правом подреберье, отметил пожелтение кожных покровов и видимых слизистых, потемнение мочи и обесцвечивание кала, появилась общая слабость. Самостоятельно не лечился, обратился за медицинской помощью. С 13 по 28.03.2022 г. пациент находился на стационарном лечении в лечебно-профилактическом учреждении по месту жительства. Проведено комплексное обследование, на основании которого выставлен диагноз: «Опухоль

Клацкина, тип III по Bismuth-Corlette. Механическая желтуха, средней степени тяжести». Пациенту проводилась консервативная терапия, которая не оказала должного эффекта. С целью решения вопроса о выполнении декомпрессии билиарного тракта с использованием антеградных рентгенохирургических технологий под контролем ультразвуковой навигации (УЗИ) и рентгенотелевидения (РТВ) пациент был направлен в областную консультативную поликлинику. Консультирован хирургом, 28.03.2022 г. госпитализирован в хирургическое отделение областной клинической больницы.

Учитывая данные анамнеза, объективного осмотра пациента, данные лабораторно-инструментальных исследований с целью создания эффективной, управляемой, адекватной и прогнозируемой билиарной декомпрессии 29.03.2022 г., пациенту произведено первичное рентгенохирургическое пособие – раздельная наружная чрескожная чреспеченочная холангиостомия правого и левого долевых протоков под контролем УЗИ и РТВ (рис. 1).

Вмешательство выполнено с использованием пункционной иглы 17,5 G для первичного центрального доступа в желчные протоки печени. Материалом для проводимого исследования являлась желчь, которая была получена как в процессе формирования чрескожного пункционного доступа в желчные протоки, так и в последующем каждые трое суток из холангиостомического дренажного катетера.

При флуороскопическом исследовании определялись расширенные разобщенные внутripеченочные протоки правой и левой долей печени. В правый доле-вой проток с использованием J-образного проводника, под контролем РТВ, установлен наружный дренажный катетер типа «pigtail» с эффектом памяти формы, длиной 25 см и диаметром 10 Fr. В левый доле-вой проток также с использованием J-образного проводника, под контролем РТВ, установлен наружный дренажный катетер типа «pigtail» с эффектом памяти формы, длиной 25 см и диаметром 8 Fr.

При обработке результатов КЛДГ желчи, поступающей по дренажному катетеру, проводилась оценка качественных морфологических признаков: упорядоченность зоны кристаллизации, однородность структуры и угол наклона жидкокристаллических линий (ЖКЛ). Для интерпретации применяемых признаков проведено балльное ранжирование от 1 до 4 баллов в соответствии с их интерпретацией. Для проведения балльного ранжирования оцененных признаков использована многопараметрическая линейная математическая модель:

$$Y(x_1, x_2, \dots, x_{141}) = C_0 + \sum_{i=1}^{141} C_i * x_i,$$

где: $Y(\dots)$ – итоговый балл; x_i – независимая переменная заболевания; C_i – коэффициенты

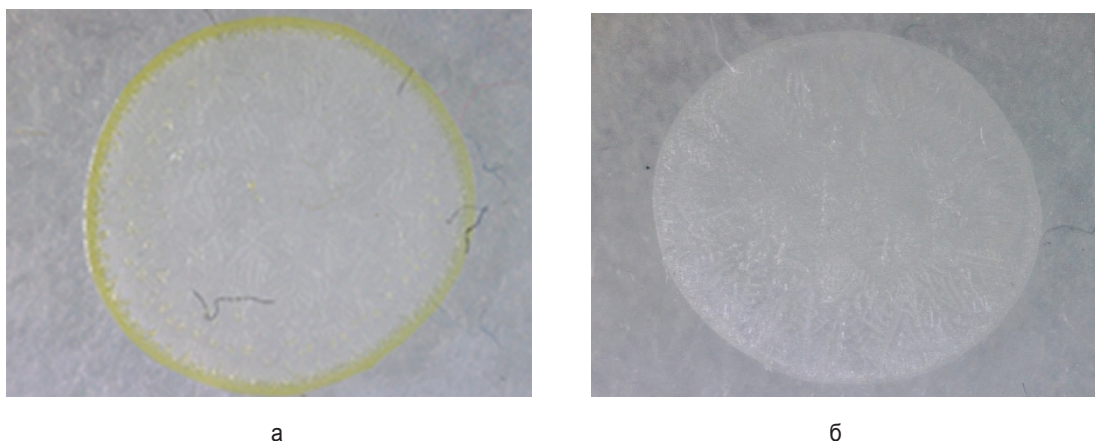


Рис. 2. Фации желчи. День вмешательства. А – правая доля печени; б – левая доля печени

Fig. 2. Bile facies. On the day of surgical intervention. A – right lobe of the liver; б – left lobe of the liver

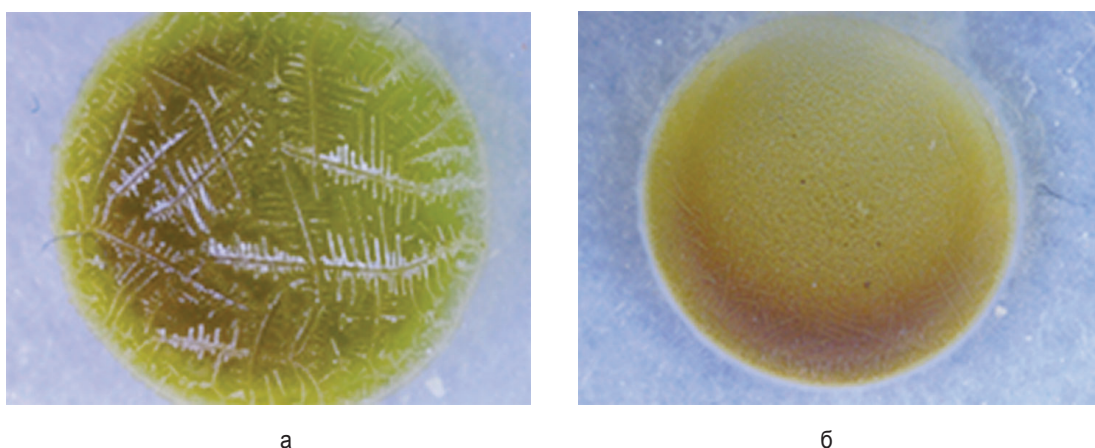


Рис. 3. Фации желчи. 3-и сутки после проведенного вмешательства. А – правая доля печени; б – левая доля печени

Fig. 3. Bile facies. On day 3 after the procedure. A – right lobe of the liver; б – left lobe of the liver

многопараметрической линейной математической модели [35]. Финальным этапом проводимого кристаллографического исследования являлась суммация баллов, полученных в результате выполненного исследования.

В день проведения чрескожных вмешательств сумма баллов для правой доли печени составила 11 (рис. 2 а): угол наклона ЖКЛ менее 30° – 4 балла; хаотичное расположение трещин на площади, превышающей 50 % площади фации – 4 балла; наличие в зоне кристаллизации одного участка другого цвета и/или структуры на площади более 25 % и менее 50 % площади зоны кристаллизации – 3 балла. Для левой доли печени – 12 баллов (рис. 2 б): угол наклона ЖКЛ меньше 30° – 4 балла; хаотичное расположение трещин на площади, превышающей 50 % площади фации – 4 балла; наличие в зоне кристаллизации двух и более участков другого цвета и/или структуры – 4 балла.

В динамике на 3-и сутки для правой доли печени сумма баллов составила 7 (рис. 3 а): угол наклона ЖКЛ $30-60^\circ$ – 2 балла; хаотичное расположение трещин на площади, составляющей 20–50 % площади

фации – 2 балла; наличие в зоне кристаллизации одного участка другого цвета и/или структуры на площади более 25 и менее 50 % площади зоны кристаллизации – 3 балла. Для левой доли печени – 10 баллов (рис. 3 б): угол наклона ЖКЛ $30-60^\circ$ – 4 балла; хаотичное расположение трещин на площади, составляющей 20–50 % площади фации – 3 балла; наличие в зоне кристаллизации одного участка другого цвета и/или структуры на площади более 25 и менее 50 % площади зоны кристаллизации – 3 балла.

В динамике на 7-е сутки для правой доли печени сумма баллов была равна 4 (рис. 4 а): угол наклона ЖКЛ 90° – 1 балл; хаотичное расположение трещин на площади, составляющей до 10 % площади фации – 2 балла; однородная зона кристаллизации – 1 балл. Для левой доли – 8 баллов (рис. 4 б): угол наклона ЖКЛ $30-59^\circ$ – 3 балла; хаотичное расположение трещин на площади, составляющей до 10 % площади фации – 2 балла; наличие в зоне кристаллизации одного участка другого цвета и/или структуры на площади более 25 и менее 50 % площади зоны кристаллизации – 3 балла.

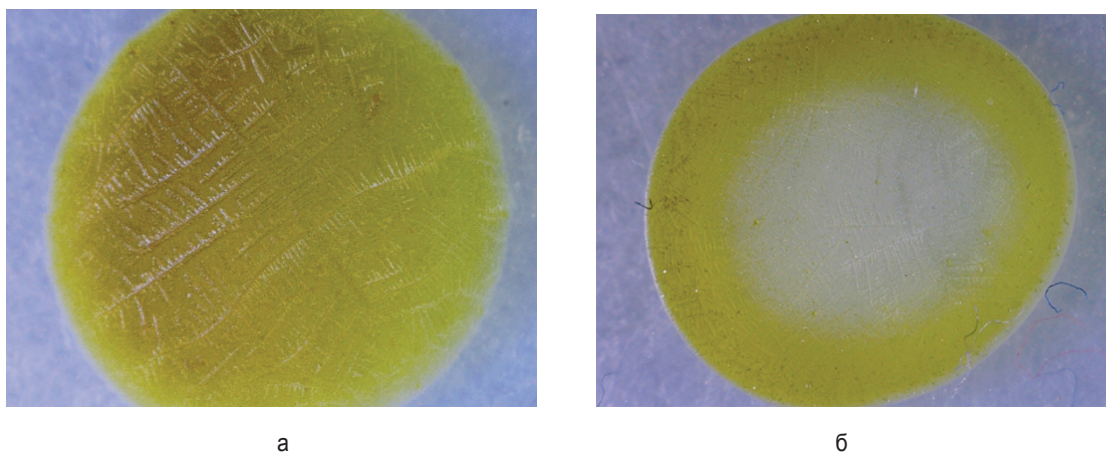


Рис. 4. Фации желчи. 7-е сутки после проведенного вмешательства. А – правая доля печени; б – левая доля печени

Fig. 4. Bile facies. On day 7 after the procedure. А – right lobe of the liver; б – left lobe of the liver

На основании данных, полученных в ходе диагностических исследований, можно сделать вывод, что по результатам КЛДГ к седьмым суткам функциональное состояние правой доли печени при условии раздельной адекватной билиарной декомпрессии правой и левой долей нормализовалось и достигло показателей, характерных для условно здорового пациента. В то же время данные, полученные для левой доли печени, свидетельствуют о неполном восстановлении ее функционального состояния, что может указывать на более тяжелое поражение гепатоцитов.

В послеоперационном периоде пациенту было проведено комплексное консервативное лечение: инфузионная, антисекреторная и противовоспалительная терапия, ежедневное промывание холангиостомических дренажных катетеров с санацией желчевыводящих путей растворами антисептиков до чистых промывных вод. На фоне проводимой комплексной консервативной терапии состояние пациента улучшилось, интенсивность клинических проявлений синдрома МЖ уменьшилась. В лабораторных показателях отмечено снижение уровня фракций общего/прямого билирубина с 337/274 до 86/25 мкмоль/л, уровня АСТ с 457 до 112 МЕ, уровня АЛТ с 368 до 119 МЕ, уровня ШФ с 617 до 388 ед/л. В последующем для дальнейшего проведения специфического лечения пациент 15.04.2022 г. выписан с улучшением и направлен в федеральный центр (г. Москва).

В условиях федерального центра 05.05.2022 г. пациенту выполнено комбинированное лечение, объем которого определялся на основании данных оценки мультиспиральной компьютерной томографии органов брюшной полости с внутривенным контрастным усилением, УЗИ брюшной полости с дуплексным сканированием сосудов, магнитно-резонансной холангиографии, прямой холангиографии, а также полученных данных КЛДГ. Исходя из полученных результатов был определен объем удаляемой и остающейся паренхимы печени, который основан на оценке функционального резерва. Пациенту выполнена чрескожная

левосторонняя селективная портоэмболизация с последующей левосторонней гемигепатэктомией с формированием гепатикоеюанастомоза на петле по Ру. Послеоперационный период протекал без осложнений, явлений печеночной недостаточности, гнойно-септических осложнений зафиксировано не было. В удовлетворительном состоянии 07.06.2022 г. пациент выписан под амбулаторное наблюдение онколога по месту жительства. Клиническое наблюдение, результатом которого стало успешное лечение, представляет определенный интерес. В данном случае для оценки степени нарушения функционального состояния отдельных долей печени при синдроме МЖ впервые был применен метод КЛДГ. Полученные в данном исследовании результаты отражают функциональные изменения, являющиеся следствием билиарной обструкции. Увеличение накопления билирубина в левой доле относительно правой может указывать на более высокую степень повышения гидродинамического давления желчи в результате ее затрудненного оттока в этой области печени.

ВЫВОДЫ

Представленное клиническое наблюдение указывает на высокую эффективность КЛДГ в динамической оценке функционального состояния печени. Способ обеспечивает быструю и доступную оценку при исключении недостатков лабораторной диагностики (длительное время выполнения исследования, необходимость использования дорогостоящего специализированного оборудования и реактивов). Полученные результаты могут быть использованы в клинической практике хирургов, практикующих минимально инвазивные операции в гепатологии с целью получения диагностической информации о функциональном состоянии печени для определения тактики ведения пациентов, в том числе для комплексного исследования в прогностической оценке течения послеоперационного периода у пациентов с билиарной декомпрессией с учетом ряда клинических показателей

и применением других методов оптической спектроскопии в рамках мультимодального подхода.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 23-25-00487 (<https://rscf.ru/project/23-25-00487/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Механическая желтуха опухолевого генеза: обоснование выбора метода декомпрессии желчевыводящих протоков / П.Н. Ромашенко, Н.А. Майстренко, А.И. Кузнецов [и др.]. *Анналы хирургической гепатологии*. 2020; 25 (2): 124–136. DOI: 10.16931/1995-5464.20202124-136
2. Механическая желтуха опухолевого генеза: подходы к миниинвазивной декомпрессии / Б.Л. Дуберман, Д.В. Мизгирев, А.М. Эпштейн [и др.]. *Анналы хирургической гепатологии*. 2019; 24 (2): 36–47. DOI: 10.16931/1995-5464.2019236-47
3. Современное хирургическое лечение пожилых пациентов с холедохолитиазом и механической желтухой / М. М. Винокуров, А. П. Петров, В. В. Савельев [и др.]. *Якутский медицинский журнал*. 2022; 1 (77): 35–38. DOI: 10.25789/YMJ.2022.77.09
4. Prognostic effects of different malignant obstructive jaundice sites on percutaneous biliary intervention: A retrospective controlled study / J. Xu, S. Zhuang, M. Liu [et al.]. *Journal of cancer research and therapeutics*. 2023; 19 (1): 78–85. DOI: 10.4103/jcrt.jcrt_2038_22
5. Подолужный В.И. Механическая желтуха: принципы диагностики и современного хирургического лечения / В.И. Подлужный. *Фундаментальная и клиническая медицина*. 2018; 3 (2): 82–92. DOI: 10.23946/2500-0764-2018-3-2-82-92
6. Гальперин Э.И. Руководство по хирургии желчных путей. 2-е изд. Под редакцией Э.И. Гальперина, П.С. Ветшева М. Видар М; 2009; 568.
7. Balogun O.S. Management of Malignant Obstructive Jaundice: Defining the Relevance of Various Palliative Surgical Options in Resource-Challenged Settings: A Review Article / O.S. Balogun, O.A. Atoyebi. *Journal of the West African College of Surgeons*. 2024; 1 (3): 111–119. DOI: 10.4103/jwas.jwas_22_22
8. Fekaj E. Obstructive Jaundice / E. Fekaj, N. Jankulovski, N. Matveeva. *Austin Dig Syst*. 2017; 2 (1): 1006.
9. Пельце В.А. Операция лапароскопической изоляции воротного кровотока как метод профилактики пострезекционной печеночной недостаточности / В.А. Пельц, В.Е. Тропин, И. В. Пачгин. *Актуальные проблемы медицины*. 2023; 46 (2): 203–214. DOI: 10.52575/2687-0940-2023-46-2-203-214
10. Влияние желчесорбции на основные факторы эндогенной интоксикации у больных с механической желтухой / Н. У. Арипова, С. И. Джамалов, Ж. К. Бабаджанов [и др.]. *Журнал теоретической и клинической медицины*. 2022; 1: 36–42.
11. EASL Clinical Practical Guidelines on the management of acute (fulminant) liver failure / J. Wendon, J. Córdoba, A. Dhawan, [et al.]. *J. Hepatol*. 2017; 66 (5): 1047–1081. DOI: 10.1016/j.jhep.2016.12.003
12. Алиханов Р.Б. Пострезекционная печеночная недостаточность. Прогнозирование, профилактика и лечение : дис. ... д-ра мед. наук: 3.1.9/ Пострезекционная печеночная недостаточность. Прогнозирование, профилактика и лечение : диссертация на соискание ученой степени доктора мед. наук: 3.1.9 / Руслан Богданович Алиханов. Москва, 2024; 208.
13. Трудности оценки тяжести дисфункции печени при механической желтухе / М.Ю. Кабанов, К.В. Семенов, Д.Ю. Бояринов [и др.]. *Анналы хирургической гепатологии*. 2021; 26 (2): 129–136. DOI: 10.16931/10.16931/1995-5464.2021-2-129-136
14. Современное хирургическое лечение пожилых пациентов с холедохолитиазом и механической желтухой / М. М. Винокуров, А. П. Петров, В. В. Савельев [и др.]. *Якутский медицинский журнал*. 2022; 1 (77): 35–38.
15. Current concepts in acute liver failure / M. Rovegno, M. Vera, A. Ruiz, C. Benítez. *Ann. Hepatol*. 2019; 18 (4): 543–552. DOI: 10.1016/j.aohp.2019.04.008
16. Effect of Percutaneous Biliary Drainage on Enzyme Activity of Serum Matrix Metalloproteinase-9 in Patients with Malignant Hilar Obstructive Hyperbilirubinemia / A. Filipović, D. Mašulović, K. Gorčević [et al.]. *Medicina* (Kaunas, Lithuania). 2023; 59 (2): 336. DOI: 10.3390/medicina59020336
17. Выбор уровня пересечения поджелудочной железы с учетом вариантов топографии артериальных сосудов и панкреатического протока / С.В. Тарасенко, П.В. Тараканов, А.А. Натальский [и др.]. *Новости хирургии*. 2021; 29 (2): 175–182. DOI: 10.18484/2305-0047.2021.2.175
18. Hanif F. Diagnostic accuracy of ultrasound in evaluation of obstructive jaundice with MRCP as gold standard / H. Hanif, S.A. Khan, S. Muneer, S.O. Adil. *Pakistan journal of medical sciences*. 2020; 36 (4): 652–656. DOI: 10.12669/pjms.36.4.1665
19. Takada T. Tokyo Guidelines 2018: updated Tokyo Guidelines for the management of acute cholangitis/acute cholecystitis / T. Takada. *Journal of hepato-biliary-pancreatic sciences*. 2018; 25 (1): 1–2. DOI: 10.1002/jhbp.526
20. Ali M. Percutaneous trans-hepatic biliary drainage: A retrospective study from a tertiary care hospital in Pakistan / M. Ali, A. Sulaiman, O. Parkash. *The Journal of the Pakistan Medical Association*. 2022; 72 (10): 2084–2085. DOI: 10.47391/JPMMA.4283
21. Denning A.G. Preoperative percutaneous transhepatic biliary decompression lowers operative morbidity in patients with obstructive jaundice / D.A. Denning, L.C. Carey. *Am. J. Surg. Elsevier*. 2018; 221 (6): 68–74. DOI: 10.1016/0002-9610(81)90013-1
22. Banales J.M. Cholangiocarcinoma 2020: the next horizon in mechanisms and management / J.M. Banalts, J.G. Marin, A. Lamarca [et al.]. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*. 2020; 17 (9): 557–588. DOI: 10.1038/s41575-020-0310-z
23. Маады А.С. Миниинвазивные технологии дренирования желчных путей при нерезектабельных опухолях гепато-панкреатобилиарной зоны, осложненных механической желтухой: дис. ... д-ра мед. наук: 14.01.17 / Аяс Сергеевич Маады. Москва. 2015; 264.
24. Гальперин Э.И. Темп декомпрессии желчных протоков при механической желтухе опухолевой этиологии / Э.И. Гальперин, А.Е. Котовский, О.Н. Момунова. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2011; 8: 33–40.

25. Черешнев Н.А. Новые подходы к диагностике печеночной недостаточности при хирургической патологии желчевыводящих путей и поджелудочной железы / В.А. Черешнев, Н.А. Зубарева, Д.Ю. Соснин. *Вестник Уральской медицинской академической науки*. 2011; 1: 67–70.
26. Оценка риска развития пострезекционной печеночной недостаточности / Ю.С. Винник, С.С. Дунаевская, А.А. Косик [и др.]. *Дальневосточный медицинский журнал*. 2021; 2: 33–36. DOI: 10.35177/1994-5191-2021-2-33-36
27. Оптимизация лечения печеночной недостаточности у больных механической желтухой / К.Р. Рузбойзода, М.К. Гулов, А.М. Сафарзода [и др.]. *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова*. 2023; 18 (1): 69–73. DOI: 10.25881/20728255_2023_18_3_66
28. The impact of preoperative biliary drainage on postoperative outcomes in patients with malignant obstructive jaundice: a retrospective analysis of 290 consecutive cases at a single medical center / Z. Gao, J. Wang, S. Shen [et al.]. *World journal of surgical oncology*. 2022; 20 (1): 7. DOI: 10.1186/s12957-021-02476-z
29. Полтавский Д.И. Особенности процессов гидратации в крови (метод кристаллографии) у лиц с различной соматической патологией (обзор) / Д.И. Полтавский, В.А. Кучурина, В.В. Бекезин. *Смоленский медицинский альманах*. 2024; 2: 124–126.
30. Диагностика промикролитных изменений пузырной желчи методом кристаллографии / Я. М. Вахрушев, Н. А. Хохлачева, Н. Н. Глазырина, А.М. Фаррахов. *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. 2021; 5: 12–18. DOI: 10.31146/1682-8658-esc-189-5-12-18
31. Кидалов В.Н. Тезиография крови и биологических жидкостей / В.Н. Кидалов, А.А. Хадарцев. Тула: Тульский полиграфист. 2009; 244.
32. Тезиографический. метод исследования плазмы крови / А. О. Буглак, В. Г. Шестакова, Е. Б. Ганина [и др.]. *Тверской медицинский журнал*. 2023; 5: 67–71.
33. Значение морфометрического исследования желчи в ранней диагностике желчного камнеобразования / Я.М. Вахрушев, Н.А. Хохлачева, М.В. Мосеева [и др.]. *Архивъ внутренней медицины*. 2018; 6 (44): 458–463. DOI: 10.20514/2226-6704-2018-8-6-458-463
34. Патент № RU 2826265. Российская Федерация, МПК G01N 33/48, G01N 33/487, G01N 1/40. Способ оценки тяжести печеночной недостаточности при синдроме механической желтухи: заявл. 04.04.2023; опубл. 09.09.2024; Бюл. № 25 / Сумин Д.С., Мамошин А.В., Потапова Е.В. [и др.]; патентообладатель Орловский государственный университет.
35. Шаталов Р.П. Дифференциальная диагностика и лечебная тактика при жидкостных образованиях, осложняющих течение острого деструктивного панкреатита: дис. ... канд. мед. наук: 14.01.17 / Шаталов Роман Петрович. Курск. 2017; 168.
- minimally invasive biliary decompression. *Annals of HPB Surgery*. 2019; 24 (2): 36–47. (In Russ.). DOI: 10.16931/1995-5464.2019236-47
3. Modern surgical treatment of elderly patients with cholelithiasis and obstructive jaundice / M.M. Vinokurov, A.P. Petrov, V.V. Savelyev. *Yakut Medical Journal*. 2022; 1 (77): 35–38. (In Russ.). DOI: 10.25789/YMJ.2022.77.09
4. Prognostic effects of different malignant obstructive jaundice sites on percutaneous biliary intervention: A retrospective controlled study / J. Xu, S. Zhuang, M. Liu [et al.]. *Journal of cancer research and therapeutics*. 2023; 19 (1): 78–85. DOI: 10.4103/jcrt.jcrt_2038_22
5. Podoluzhnyi V.I. Obstructive jaundice: current principles of diagnosis and treatment. *Fundamental and Clinical Medicine*. 2018; 3 (2): 82–92. (In Russ.). DOI 10.23946/2500-0764-2018-3-2-82-92
6. Galperin E.I. Guide to surgery of the biliary tract. 2nd ed. Edited by E.I. Galperin, P.S. Vetshev, M. Vidar M.. 2009; 568. (In Russ.).
7. Balogun O.S. Management of Malignant Obstructive Jaundice: Defining the Relevance of Various Palliative Surgical Options in Resource-Challenged Settings: A Review Article / O.S. Balogun, O.A. Atoyebi. *Journal of the West African College of Surgeons*. 2024; 1 (3): 111–119. DOI: 10.4103/jwas.jwas_22_22
8. Fekaj E. Obstructive Jaundice / E. Fekaj, N. Jankulovski, N. Matveeva. *Austin Dig Syst*. 2017; 2 (1): 1006.
9. Pel'ts V.A., Tropin V.E., Pachgin I.V. 2023. The Operation of Laparoscopic Isolation of the Portal Blood Flow as a Method for the Prevention of Post-Resection Liver Failure. *Challenges in Modern Medicine*. 2023; 46 (2): 203–214 (In Russ.). DOI: 10.52575/2687-0940-2023-46-2-203-214
10. The effect of bile absorption on the main factors of endogenous intoxication in patients with obstructive jaundice / N.U. Arkhipova, S.I. Jamalov, J.K. Babajanov [et al.]. *Journal of Theoretical and Clinical Medicine*. 2022; 1: 36–42. (In Russ.).
11. EASL Clinical Practical Guidelines on the management of acute (fulminant) liver failure / J. Wendon, J. Córdoba, A. Dhawan, [et al.]. *J. Hepatol*. 2017; 66 (5): 1047–1081. DOI: 10.1016/j.jhep.2016.12.003
12. Alikhanov R.B. Post-resection liver failure. Prognosis, prevention and treatment : dis. ...Doctor of medical Sciences: 3.1.9/ Postresection liver failure. Prognosis, prevention and treatment : dissertation for the degree of Doctor of Medical Sciences: 3.1.9 / Ruslan Bogdanovich Alikhanov. Moscow, 2024: 208. (In Russ.).
13. Kabanov M.Yu., Sementsov K.V., Boyarinov D.Yu., Myanzenlin M.N., Belikova M.Ya., Alekseev V.V. Difficulties in assessing the severity of liver dysfunction for obstructive jaundice. *Annals of HPB Surgery*. 2021; 26 (2):129–136. (In Russ.). DOI: 10.16931/10.16931/1995-5464.2021-2-129-136
14. Modern surgical treatment of elderly patients with cholelithiasis and obstructive jaundice / M.M. Vinokurov, A.P. Petrov, V.V. Savelyev. *Yakut Medical Journal*. 2022; 1 (77): 35–38. (In Russ.). DOI: 10.25789/YMJ.2022.77.09
15. Current concepts in acute liver failure / M. Rovegno, M. Vera, A. Ruiz, C. Benítez. *Ann. Hepatol*. 2019; 18 (4): 543–552. DOI: 10.1016/j.aohp.2019.04.008
16. Effect of percutaneous biliary drainage on enzyme activity of serum matrix metalloproteinase-9 in patients with ma-

REFERENCES

1. Romashchenko P.N., Maistrenko N.A., Kuznetsov A.I., Pryadko A.S., Filin A.A., Aliev A.K., Zherebtsov E.S. Malignant obstructive jaundice: justification of the method of biliary decompression. *Annals of HPB Surgery*. 2020; 25 (2): 124–136. (In Russ.). DOI: 10.16931/1995-5464.20202124-136
2. Duberman B.L., Mizgirev D.V., Epshtein A.M., Pozdeev V.N., Tarabukin A.V. Malignant obstructive jaundice: approaches to

- lignant hilar obstructive hyperbilirubinemia / A. Filipović, D. Mašulović, K. Gopčević [et al.]. *Medicina (Kaunas, Lithuania)*. 2023; 59 (2): 336. DOI: 10.3390/medicina59020336
17. Selection of the level of intersection of the pancreas, taking into account the topography of arterial vessels and pancreatic duct / S.V. Tarasenko, P.V. Tarakanov, A.A. Natalsky [et al.]. *Surgical News*. 2021; 29 (2): 175–182. (In Russ.). DOI: 10.18484/2305-0047.2021.2.175
 18. Hanif F. Diagnostic accuracy of ultrasound in evaluation of obstructive jaundice with MRCP as gold standard / H. Hanif, S.A. Khan, S. Muneer, S.O. Adil. *Pakistan journal of medical sciences*. 2020; 36 (4): 652–656. DOI: 10.12669/pjms.36.4.1665
 19. Takada T. Tokyo Guidelines 2018: updated Tokyo Guidelines for the management of acute cholangitis/acute cholecystitis / T. Takada. *Journal of hepato-biliary-pancreatic sciences*. 2018; 25 (1): 1–2. DOI: 10.1002/jhbp.526
 20. Ali M. Percutaneous trans-hepatic biliary drainage: A retrospective study from a tertiary care hospital in Pakistan / M. Ali, A. Sulaiman, O. Parkash. *The Journal of the Pakistan Medical Association*. 2022; 72 (10): 2084–2085. DOI: 10.47391/JPMA.4283
 21. Denning A.G. Preoperative percutaneous transhepatic biliary decompression lowers operative morbidity in patients with obstructive jaundice / D.A. Denning, L.C. Carey. *Am. J. Surg. Elsevier*. 2018; 221 (6): 68–74. DOI: 10.1016/0002-9610(81)90013-1
 22. Banales J.M. Cholangiocarcinoma 2020: the next horizon in mechanisms and management / J.M. Banalts, J.G. Marin, A. Lamarca [et al.]. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*. 2020; 17 (9): 557–588. DOI: 10.1038/s41575-020-0310-z
 23. Maady A.S. Minimally invasive technologies for drainage of the biliary tract in unresectable tumors of the hepatopancreatobiliary zone complicated by obstructive jaundice: dis. ... Doctor of Medical Sciences: 01/14/17 / Ayas Sergeevich Maady. Moscow, 2015. 264 p. (In Russ.).
 24. Gal'perin ÉI, Kotovskii AE, Momunova ON. Rate of biliary ducts' decompression by the tumorous obstructive jaundice. *Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2011; (8): 33–40. (In Russ.).
 25. Chereshev N.A. New approaches to the diagnosis of liver failure in surgical pathology of the biliary tract and pancreas / V.A. Chereshev, N.A. Zubareva, D.Yu. Sosnin. *Bulletin of the Ural Medical Academic Science*. 2011; 1: 67–70. (In Russ.).
 26. Y.S. Vinnik, S.S. Dunaevkaya, A.A. Kosik, R.Y. Hlobystin. Risk assessment of post-sectional liver failure / *Far Eastern Medical Journal*. 2021; 2: 33–36. (In Russ.). DOI: 10.35177/1994-5191-2021-2-33-36
 27. Optimization of liver failure treatment in patients with obstructive jaundice / K.R. Ruziboyzoda, M.K. Gulov, A.M. Safarzoda [et al.]. *Bulletin of the National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov*. 2023; 18 (1): 69–73. (In Russ.). DOI: 10.25881/20728255_2023_18_3_66
 28. The impact of preoperative biliary drainage on postoperative outcomes in patients with malignant obstructive jaundice: a retrospective analysis of 290 consecutive cases at a single medical center / Z. Gao, J. Wang, S. Shen [et al.]. *World journal of surgical oncology*. 2022; 20 (1): 7. DOI: 10.1186/s12957-021-02476-z
 29. Poltavsky D.I.; Kuchurina V.A.; Bekezin V.V. Features of Blood Hydration Processes (Crystallography Method) in Individuals with Various Somatic Pathologies (Review). *Smolenskiy Meditsinskiy Almanakh*. 2024; 2: 124–126. (In Russ.).
 30. Vahrushev Ya.M., Hochlacheva N.A., Glazyrina N.N., Farrakhov A.M. Diagnosis of promicrolithic changes in gallbladder bile by crystallography. *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2021; 1 (5): 12–18. (In Russ.). DOI: 10.31146/1682-8658-ecg-189-5-12-18
 31. Kidalov V.N. Tesiography of Blood and Biological Fluids / V.N. Kidalov, A.A. Khadartsev. Tula: Tula Polygraphist, 2009, p. 244. (In Russ.).
 32. Thermographic method of blood plasma examination by A.O. Buglak, V.G. Shestakova, E.B. Ganina et al.. *Tver Medical Journal*. 2023; 5: 67-71. (In Russ.).
 33. Vakhrushev Ya.M., Khokhlacheva N.A., Moseeva M.V., Glazyrina N.N., Bystrova A.V. The importance of the morphometric research of bile in early diagnostics of bilious stone formation. *The Russian Archives of Internal Medicine*. 2018; 8 (6): 458–463. (In Russ.). DOI: 10.20514/2226-6704-2018-8-6-458-463
 34. Patent No. RU 2826265, issued on September 9, 2024, to Orel State University, is a method for assessing the severity of liver failure in patients with obstructive jaundice syndrome. The patent was filed on April 4, 2023, and has the following IPC codes: G01N 33/48, G01N 33/487, and G01N 1/40. (In Russ.).
 35. Shatalov R.P. Differential diagnosis and therapeutic tactics for fluid formations complicating the course of acute destructive pancreatitis: dis. ... Candidate of Medical Sciences: 01/14/17 / Shatalov Roman Petrovich. Kursk, 2017. 168 p. (In Russ.).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

Authors declare no conflict of interests.

Информация об авторах

Сумин Дмитрий Сергеевич – врач-хирург отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения БУЗ Орловской области «Орловская областная клиническая больница»; e-mail: mitrich94@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5937-2384>

Мамошин Андриан Валерьевич – доктор медицинских наук, доцент, старший научный сотрудник отделения абдоминальной хирургии отдела торакоабдоминальной онкологии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского»; профессор кафедры специализированных хирургических дисциплин медицинского института, старший научный сотрудник научно-технологического центра биомедицинской фотоники ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»; e-mail: dr.mamoshin@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1787-5156>

Кандурова Ксения Юрьевна – аспирант кафедры приборостроения, метрологии и сертификации, стажер-исследователь научно-технологического центра биомедицинской фотоники ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»; e-mail: k.kandurova@oreluniver.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7940-3475>

Приземин Вадим Николаевич – магистрант, лаборант лаборатории клеточной физиологии и патологии ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»; e-mail: vprizemin@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3396-8475>

Дунаев Андрей Валерьевич – доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-технологического центра биомедицинской фотоники, профессор кафедры приборостроения, метрологии и сертификации ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»; e-mail: dunaev@bmecenter.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4431-6288>

Потапова Елена Владимировна – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-технологического центра биомедицинской фотоники, доцент кафедры приборостроения, метрологии и сертификации ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»; e-mail: potapova_ev_ogu@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9227-6308>

Information on about the authors

Dmitriy S. Sumin – surgeon of the department of surgical X-ray diagnostic and management techniques, Orel Clinical Hospital; e-mail: mitrich94@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5937-2384>

Andrian V. Mamoshin – Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, senior researcher of the department of abdominal surgery in National Medical Research Center of Surgery named after A.V. Vishnevsky; Professor at the department of specialized surgical disciplines of the Medical Institute; senior researcher at the Research and Development Center of Biomedical Photonics, Orel State University; e-mail: dr.mamoshin@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1787-5156>

Ksenia Yu. Kandurova – postgraduate student at the Department of Instrumentation, Metrology and Certification; intern researcher at the Research and Development Center of Biomedical Photonics in Orel State University; e-mail: k.kandurova@oreluniver.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7940-3475>

Vadim N. Prizemin – laboratory assistant at the laboratory of Cellular Physiology and Pathology of the Orel State University; e-mail: vprizemin@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3396-8475>

Andrey V. Dunaev – Dr. Sci. (Tech.), leading researcher at the Research and Development Center of Biomedical Photonics; Professor at the Instrumentation, Metrology and Certification Department in Orel State University; e-mail: dunaev@bmecenter.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4431-6288>

Elena V. Potapova – Cand. Sci. (Tech.), senior researcher at the Research and Development Center of Biomedical Photonics; Associate Professor at the Instrumentation, Metrology and Certification Department in the Orel State University; e-mail: potapova_ev_ogu@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9227-6308>

Высокоэнергетический диодный аппарат "Кристалл" является лазерным прибором **последнего поколения**, разные модификации которого специально созданы для различных областей медицины:

- Дерматология и малая поликлиническая хирургия
- Косметология
- Оториноларингология
- Гинекология
- Флебология (ЭВЛК)
- Проктология
- ФДТ - фотодинамическая терапия



Основными плюсами приборов являются малые габариты, низкая стоимость и быстрая окупаемость.

сайт: www.kristall-2000.ru

Медицинский эвакуатор дыма

Мы предлагаем **современный бесшумный медицинский эвакуатор дыма** – прибор, гарантирующий безопасность и охрану труда медицинских сотрудников.

С его помощью:

- Соблюдаются стандарты охраны труда персонала при проведении лазерных и высокочастотных радиоволновых оперативных вмешательств.
- Исключается риск передачи инфекций.
- Воздух очищается не только от летучих органических соединений, цианида водорода и аммиачных выбросов, но и от пыли и запахов.
- Исключается заражение вирусом папилломы и другими вирусами.



Достоинства медицинского эвакуатора дыма:

- **Четырехступенчатая** система фильтрации: фильтр грубой очистки, фильтр тонкой очистки, НЕРА – фильтр, угольный фильтр.
- **Минимальный уровень шума**, до 60 дБ.
- **Гибкие и удобные шланги**, не ограничивающие движения хирургов и не занимающие много места.
- **Простое управление.**
- **Возможность задавать мощность всасывания.**
- **Компактность и мобильность.** Весь комплект весит 3 кг.
- **Возможность регулировать диапазон высоты** расположения всасывающего наконечника от уровня стола в пределах 500-1000 мм.
- **Синхронизация с аппаратом «Кристалл».**
- **Удобная, эргономичная ручка для синхронизации с аппаратом «Кристалл».**
- **Гарантия 2 года.**



Сайт www.technika-pro.ru

Телефон: (495) 545-31-21

