

ISSN 1810-200X

Ассоциация
Медицинских
Физиков
России



МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА

техника ✦ биология ✦ клиника

№ 2
2025



МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА

ТЕХНИКА + БИОЛОГИЯ + КЛИНИКА

№ 2, 2025

**Периодическое научно-техническое издание
выпускается с 1995 года**

Журнал включен в Научную электронную библиотеку и Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), включен в CrossRef, все статьи индексируются с помощью цифрового идентификатора DOI.

Журнал включен в перечень ВАК и “Белый список” Минобрнауки РФ (категория К2) ведущих рецензируемых научных журналов, рекомендованных для опубликования результатов диссертационных исследований.

Журнал вошел в Перечень Russian Science Citation Index (RSCI), размещенный на платформе Международной библиографической базы данных Web of Science.

**Наименования отраслей науки по профилю журнала в соответствии
с Номенклатурой специальностей:**

- 1.3.21. Медицинская физика (физико-математические и технические науки)**
- 3.1.6. Онкология, лучевая терапия (медицинские и биологические науки)**
- 3.1.25. Лучевая диагностика (медицинские науки)**

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-52933 выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Учредитель и издатель журнала – Общероссийский союз общественных объединений “Ассоциация медицинских физиков России”.

Журнал основан в 1995 году как официальный орган Ассоциации медицинских физиков России (АМФР) для опубликования широкого спектра новейшей информации о медико-физических технологиях и аппаратуре в областях лучевой диагностики, лучевой терапии, ядерной медицины, медицинской визуализации, лазерной медицины, радиационной безопасности, медицинской биофизики, гипертермии, магнитотерапии и других областях взаимодействия физики и медицины. В журнале также публикуются материалы по организационно-экономическим и образовательным проблемам медицинской физики.

Редакционная коллегия принимает для рассмотрения материалы, оформленные в соответствии с опубликованными правилами.

Все представленные для опубликования материалы проходят независимое научное рецензирование. Редакционная коллегия оставляет за собой право редакторской правки материалов.

Журнал содержит научную, научно-техническую и статистическую информацию.

Полное или частичное воспроизведение или размножение каким бы то ни было способом материалов, опубликованных в настоящем издании, допускается только с письменного разрешения редакции журнала “Медицинская физика”.

Адрес 115478 Москва, Каширское ш., д. 23, НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина,
редакции журнала Б-2, АМФР

Web medphys.amphr.ru

E-mail publisher@amphr.ru

Редакционная коллегия:

Главный редактор Б.Я. НАРКЕВИЧ (д.т.н., проф.)

**Зам. главного редактора,
научный и выпускающий редактор** И.М. ПЕБЕДЕНКО (д.б.н.)

Ответственный секретарь Н.А. АНТИПИНА

Члены редакционной коллегии: С.В. Акулиничев (д.ф.-м.н., проф.), А.А. Вайнсон (д.б.н., проф.),
А.Н. Гольцов (д.ф.-м.н.), В.А. Гурвич (PhD, США),
П.Я. Клеппер (д.т.н.), Т.А. Крылова, М.А. Кузнецов (к.ф.-м.н.),
А.А. Липенгольц (к.ф.-м.н.), А.Н. Моисеев (к.ф.-м.н.),
И.В. Назаров (к.т.н.), Ю.А. Пирогов (д.ф.-м.н., проф.),
Д.А. Рогаткин (д.т.н.), В.В. Розанов (д.б.н., проф.),
П. Руссо (Dr. Sci. Med., PhD, Италия), Ю.П. Рыбаков (д.б.н.),
С.А. Рыжов, Е.С. Сухих (д.ф.-м.н.), С. Табаков (MSc, Dr. Sci. Tech.,
Великобритания), И.Г. Тарутин (д.т.н., проф., Белоруссия),
А.В. Хмелев (д.ф.-м.н., проф.), В.С. Хорошков (д.т.н., проф.),
А.П. Черняев (д.ф.-м.н., проф.)

Редакционный совет:

С.М. Ватницкий (к.ф.-м.н.), А.В. Важенин (академик РАН, д.м.н., проф.),
Ю.С. Мардынский (чл.-корр. РАН, д.м.н., проф.),
В.Я. Панченко (академик РАН, д.ф.-м.н., проф.),
В.С. Скуридин (д.т.н., проф.)

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

- | | |
|--|---|
| <p>НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
“СКОБЕЛКИНСКИЕ ЧТЕНИЯ.
ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ”</p> <p>Изучение влияния лазерного излучения на белковые фракции ротовой жидкости при лечении хронического пародонтита
<i>А.А. Ал Саррадж, А.А. Чунихин</i></p> <p>Острый постоперационный болевой синдром на фоне местного применения низкоинтенсивного лазерного излучения после сложного удаления зуба
<i>Р.Б. Али, И.В. Кастыро, В.А. Заборова, С.Г. Драгунова, Д.К. Юдин</i></p> <p>Дозозависимые изменения в сывороточном гомеостазе при действии гамма-излучения, выявляемые методом лазерной корреляционной спектроскопии
<i>И.Б. Алчинова, О.И. Ковалева, М.Ю. Копалева, А.Б. Черепов, М.Ю. Карганов</i></p> <p>Лазерная диагностика микроциркуляции в коже при массаже лица
<i>Е.Е. Аронина, Е.В. Сидякин</i></p> <p>Влияние магнитолазеротерапии на микроциркуляторное русло в повздошной области у здоровых людей
<i>М.С. Арясов, К. Альхатиб, И.В. Кастыро, П.В. Михальская, С.Е. Мороз</i></p> <p>Морфофункциональное исследование кожи и поперечно-полосатой мышечной ткани при воздействии излучения гольмиевого волоконного лазера
<i>В.В. Асташов, П.В. Новокрещенов, В.И. Козлов, В.А. Дуванский, С.А. Филатова, И.А. Ерохина, А.А. Борхунов</i></p> <p>Эффективность и безопасность Nd-YAG лазерной коагуляции в лечении венозной мальформации полового члена у детей
<i>О.С. Бычкова, А.Н. Рощупкина, С.М. Батаев, И.В. Зябкин, О.В. Щербаклова, Э.И. Алиева, М.В. Цаца, М.С. Голубев, Т.С. Полевикова</i></p> <p>Лечение рецидивирующих носовых кровотечений с применением лазера у детей
<i>С.Г. Вахрушев, Ю.С. Чупракова</i></p> <p>Новая длина волны 675 нм в коррекции гиперпигментации любого генеза
<i>Т.А. Володькина, С.В. Мураков, И.В. Серая, Л.М. Сулейман</i></p> <p>Комбинированный подход с применением лазерных технологий при лечении поражений кровеносных сосудов в области головы и шеи у детей
<i>Е.Ю. Гавеля, В.В. Рогинский, А.Г. Надточий</i></p> <p>Современные лазерные технологии при лечении сосудистых патологий полового члена и органов мошонки у детей
<i>Э.Н. Гасанова, А.Г. Дорофеев, А.В. Брянцев, М.В. Григорьева, О.О. Саруханян</i></p> <p>Стимуляции лазером зеленого спектра регенерации печени после хирургического повреждения
<i>Е.С. Головнева, И.В. Еловских</i></p> <p>Сравнительный анализ интраоперационных и ранних послеоперационных осложнений лазерной циклокоагуляции при глаукоме терминальной стадии
<i>К.Е. Гостева, Н.Н. Гостева</i></p> | <p>9 SCIENTIFIC CONFERENCE “SKOBELKIN READINGS. LASER TECHNOLOGIES IN MEDICINE”</p> <p>10 Study of the Effect of Laser Radiation on Protein Fractions of Oral Fluid in the Treatment of Chronic Periodontitis
<i>A.A. Al Sarradzh, A.A. Chunikhin</i></p> <p>11 Acute Postoperative Pain Syndrome due to Local Application of Low-Intensity Laser Radiation after Complex Tooth Extraction
<i>R.B. Ali, I.V. Kastyro, V.A. Zaborova, S.G. Dragunova, D.K. Yudin</i></p> <p>12 Dose-Dependent Changes in Serum Homeostasis under the Action of Gamma Radiation, Detected by Laser Correlation Spectroscopy
<i>I.B. Alchinova, O.I. Kovaleva, M.Yu. Kopaeva, A.B. Cherepov, M.Yu. Karganov</i></p> <p>12 Laser Diagnostics of Microcirculation in the Skin During Facial Massage
<i>E.E. Aronina, E.V. Sidiyakin</i></p> <p>13 The Effect of Magnitolaser Therapy on the Microcirculatory System in the Iliac Region in Healthy People
<i>M.S. Ariasov, K. Alhatib, I.V. Kastyro, P.V. Mihalskaya, S.E. Moroz</i></p> <p>14 Morphofunctional Examination of Skin and Striated Muscle Tissue under the Influence of Holmium Fiber Laser Radiation
<i>V.V. Astashov, P.V. Novokreshchenov, V.I. Kozlov, V.A. Duvanskiy, S.A. Filatova, I.A. Erokhina, A.A. Borkhunov</i></p> <p>15 Efficacy and Safety of Nd-YAG Laser Coagulation in the Treatment of Penile Venous Malformation in Children
<i>O.S. Bychkova, A.N. Roshchupkina, S.M. Bataev, I.V. Zyabkin, O.V. Shcherbakova, E.I. Alieva, M.V. Tsatsa, M.S. Golubev, T.S. Polevikova</i></p> <p>15 Laser Treatment of Recurrent Nosebleeds in Children
<i>S.G. Vakhrushev, Yu.S. Chuprakova</i></p> <p>16 New 675 nm Wavelength in Correction of Hyperpigmentation of Any Genesis
<i>T.A. Volodkina, S.V. Murakov, I.V. Seraya, L.M. Suleyman</i></p> <p>17 Combined Approach Using Laser Technologies in the Treatment of Damaged Blood Vessels in the Head and Neck Area in Children
<i>E.Y. Gavelya, V.V. Roginsky, A.G. Nadtochy</i></p> <p>18 Modern Laser Technologies in the Treatment of Vascular Pathologies of the Penis and Scrotum Organs in Children
<i>E.N. Gassanova, A.G. Dorofeev, M.V. Grigoreva, A.V. Bryantsev, O.O. Sarukhanyan</i></p> <p>18 Laser Stimulation of the Green Spectrum of Liver Regeneration after Surgical Injury
<i>E.S. Golovneva, I.V. Elovskikh</i></p> <p>19 Comparative Analysis of Intraoperative and Early Postoperative Complications of Laser Cyclocoagulation in Terminal Stage Glaucoma
<i>K.E. Gosteva, N.N. Gosteva</i></p> |
|--|---|

- Лазерное лечение рецидивирующего гемофтальма при пролиферативной диабетической ретинопатии
К.Е. Гостева, Н.Н. Гостева
- Эффективность лазер-коагуляции хронических микроаневризм в лечении диабетического макулярного отека
Н.Н. Гостева, К.Е. Гостева, А.В. Ржавитина
- Влияние вегетативного статуса на состояние микроциркуляции крови у детей
О.А. Гурова, В.Н. Сахаров
- Лазерная фототермодеструкция гигром лучезапястного сустава у детей
М.А. Дворникова, Н.Е. Горбатова, А.В. Брянцев, Э.Н. Гасанова, С.А. Подурар, Р.Т. Налдандын
- Технология спектрального цветового выделения в оценке ямочного рисунка эпителиальных новообразований толстой кишки
В.А. Дуванский, А.В. Белков
- Оценка микроциркуляции у больных хронической венозной недостаточностью (стадия С6)
В.А. Дуванский, М.М. Гутоп, М.М. Мусаев
- Фотодинамической терапия хронических ран
В.А. Дуванский, М.М. Гутоп, О.А. Шчипков
- Аутофлуоресцентная диагностика поверхностных эпителиальных новообразований желудка
В.А. Дуванский, М.В. Князев, А.В. Белков
- Аутофлуоресцентная диагностика поверхностных эпителиальных новообразований толстой кишки
В.А. Дуванский, М.В. Князев, А.В. Белков
- Фотодинамическая терапия огнестрельных ран (экспериментальное исследование)
В.А. Дуванский, Е.Ф. Шин, М.М. Гутоп
- Применение сочетанных лазерных методик в гинекологии
Е.А. Жулябина, М.Р. Ахалая, Л.Г. Дваладзе, М.В. Добрун
- Преимущества диодного лазера при хирургическом лечении стоматологических пациентов
А.Н. Журавлев, Л.Б. Филимонова, Е.С. Демин
- Эндовазальная фототерапия крови в лечении холедохолитиаза
Д.Н. Исаев, С.М. Игнатъев, Р.Ф. Ахметзянов, Д.А. Якимов
- Фотодинамическая терапия рака кожи, развившегося на рубцово-измененной коже
В.Н. Капинус, Е.В. Ярославцева-Исаева, О.Е. Поповкина
- Флуоресцентная диагностика (ФД) в комбинированном лечении синовиального хондроматоза и теносиновиальной гигантоклеточной опухоли
В.Ю. Карпенко, А.Ф. Колондаев, К.А. Антонов, Н.А. Любезнов, А.Л. Карасев, Е.С. Глушко, Т.В. Стрелка
- Эндоскопическая лазерная хирургия ограниченного стеноза гортани складчатого и подскладчатого отделов
Е.А. Кирасирова, Т.М. Суслова, Р.Ф. Мамедов, Н.В. Лафуткина, О.К. Пиминиди, С.И. Тютин, В.А. Трусов, О.В. Шульга
- Эндовенозная лазерная коагуляция – золотой стандарт в лечении варикозной болезни нижних конечностей
П.И. Ковчур, О.И. Ковчур, А.И. Фетюков
- Возможности диагностики и комплексного лечения вирус-ассоциированных цервикальных, вагинальных и вульварных интраэпителиальных
- 20 Laser Treatment of Recurrent Haemophthalmos in Eyes with Proliferative Diabetic Retinopathy
K.E. Gosteva, N.N. Gosteva
- 20 The Effectiveness of Laser Coagulation of Chronic Microaneurysms in the Treatment of Diabetic Macular Edema
N.N. Gosteva, K.E. Gosteva, A.V. Rzhavitina
- 21 Influence of Vegetative Status on the State of Blood Microcirculation in Children
O.A. Gurova, V.N. Sakharov
- 22 Laser Photothermoplasty of Wrist Joint Hygroma in Children
M.A. Dvornikova, N.E. Gorbatova, A.V. Bryncev, E.N. Gassanova, S.A. Podurur, R.T. Naldandyn
- 23 The Technology of Spectral Color Extraction in the Assessment of the Pit Pattern of Epithelial Neoplasms of the Colon
V.A. Duvanskiy, A.V. Belkov
- 23 Assessment of Microcirculation in Patients with Chronic Venous Insufficiency (Stage C6)
V.A. Duvanskiy, M.M. Gutop, M.M. Musaev
- 24 Photodynamic Therapy of Chronic Wounds
V.A. Duvanskiy, M.M. Gutop, O.A. Shchepkov
- 25 Autofluorescence Diagnosis of Superficial Epithelial Neoplasms of the Stomach
V.A. Duvanskiy, M.V. Knyazev, A.V. Belkov
- 26 Autofluorescence Diagnosis of Superficial Epithelial Neoplasms of the Colon
V.A. Duvanskiy, M.V. Knyazev, A.V. Belkov
- 26 Photodynamic Therapy of Gunshot Wounds (Experimental Study)
V.A. Duvanskiy, E.F. Shin, M.M. Gutop
- 27 Application of Combined Laser Techniques in Gynecology
E.A. Zhulyabina, M.R. Akhalaia, L.G. Dvaladze, M.V. Dobrun
- 28 Advantages of a Diode Laser in the Surgical Treatment of Dental Patients
A.N. Zhuravlev, L.B. Filimonova, E.S. Demin
- 29 Endovasal Blood Phototherapy in the Treatment of Cholelithiasis
D.N. Isaev, S.M. Ignatyev, R.F. Akhmetzyanov, D.A. Yakimov
- 30 PDT in the Treatment of Skin Cancer, Developed on the Scars
V.N. Kapinus, E.V. Yaroslavtseva-Isayeva, O.E. Popovkina
- 30 Fluorescence Diagnostics (FD) in the Combined Treatment of Synovial Chondromatosis and Tendosynovial Giant Cell Tumor
V.U. Karpenko, A.F. Kolondayev, K.A. Antonov, N.A. Lyubeznov, A.L. Karasev, E.S. Glushko, T.V. Strelka
- 31 Endoscopic Laser Surgery of Limited Laryngeal Stenoses of the Glottis and Subglottis Larynx
E.A. Kirasirova, T.M. Suslova, R.F. Mamedov, N.V. Lafutkina, O.K. Piminidi, S.I. Tyutina, V.A. Trusov, O.V. Shulga
- 32 Endovenous Laser Coagulation is the "Gold Standard" in the Treatment of Varicose Veins of the Lower Extremities
P.I. Kovchur, O.I. Kovchur, A.I. Fetyukov
- 32 Possibilities of Diagnostics and Comprehensive Treatment of Virus-Associated Cervical, Vaginal and Vulvar Intraepithelial Neoplasias at the

- неоплазий на амбулаторном этапе
П.И. Ковчур, И.В. Хидишян, О.И. Ковчур,
А.И. Фетюков
- Оценка эффективности лазерной и
радиочастотной хирургии у больных с
цервикальными интраэпителиальными
неоплазиями шейки матки с помощью
молекулярных биомаркеров
П.И. Ковчур, И.В. Хидишян, О.И. Ковчур,
А.И. Фетюков
- Влияние лазеротерапии на течение
и гемореологические показатели
при острой пневмонии
Е.Н. Кондрахина
- Состояние микроциркуляции кожи верхних
конечностей у мужчин с различными фенотипами
артериальной гипертензии низкого и умеренного
сердечно-сосудистого риска
А.И. Королев, В.С. Ососков, А.А. Федорович,
М.Г. Чащин, В.А. Дадаева, О.М. Драпкина
- Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения
на экспрессию белка р53 в цитоплазме нейронов
гиппокампа у крыс после моделирования
септопластики
В.Н. Котов, И.В. Кастыро, С.Г. Драгунова,
С.С. Шилин
- Спектроскопическая методика
интраоперационной оценки жизнеспособности
тканей желудочно-кишечного тракта
во время гастрэктомии
А.А. Кривецкая, Д.М. Кустов, В.В. Левкин,
С.С. Харнас, Т.А. Савельева
- Обоснование единовременного применения
двух видов излучения (радиоволновое, лазерное)
при комбинированном хирургическом
лечении ринофимы
А.И. Крюков, А.Б. Туровский, И.Г. Колбанова,
Н.В. Шведов, В.В. Мосин
- Флуоресцентная диагностика с индоцианином
зеленым – опыт применения российского прибора
“МАРС” в открытой хирургии
С.Г. Кузьменко
- Клиническая эффективность аппарата “Мустанг”
при лечении рецидивирующих афт полости рта
в детском возрасте
М.В. Кузьмичевская, Н.И. Сорокин,
А.Г. Пашчевский, О.Г. Аврамова,
Я.А. Лавровская
- Клиническая эффективность лазерного аппарата
“Оптодан” при лечении начальных форм кариеса
у подростков после ортодонтического лечения
М.В. Кузьмичевская, Н.И. Сорокин,
А.Г. Пашчевский, О.Г. Аврамова,
Я.А. Лавровская
- Антимикробная фотодинамическая терапия
в лечении хронического гиперпластического
ларингита
Д.И. Курбанова, С.Г. Романенко, О.Г. Павлихин,
Е.В. Лесогорова, Е.Н. Красильникова, Г.Б. Шадрин
- Синий лазер в хирургическом лечении
хронических ринитов
А.В. Меленчук, М.В. Нерсисян, В.И. Попадюк,
А.В. Пикulenko
- Волоконные лазеры и современные
медицинские технологии
В.П. Минаев
- Ведущая роль в развитии лазерной медицины
выдающегося анатома профессора
Валентина Ивановича Козлова
М.В. Михалкина, А.П. Михалкин
- Outpatient Stage
P.I. Kovchur, I.V. Khidishyan, O.I. Kovchur,
A.I. Fetyukov
- 33 Evaluation of the Efficacy of Laser and
Radiofrequency Surgery in Patients with Cervical
Intraepithelial Neoplasia of the Uterus Cervix
Using Molecular Biomarkers
P.I. Kovchur, I.V. Khidishyan, O.I. Kovchur,
A.I. Fetyukov
- 34 The Effect of Laser Therapy on Course and
Hemoreological Parameter in Acute Pneumonia
E.N. Kondrakhina
- 35 Upper Limb Cutaneous Microcirculation in Men
with Various Phenotypes of Arterial Hypertension
of Low and Moderate Cardiovascular Risk
A.I. Korolev, V.S. Ososkov, A.A. Fedorovich,
M.G. Chaschin, V.A. Dadaeva, O.M. Drapkina
- 35 Effect of Low-Intensity Laser Irradiation
on the Expression of p53 Protein in the Rat
Hippocampus after Septoplasty Simulation
V.N. Kotov, I.V. Kastyro, S.G. Dragunova, S.S. Shilin
- 36 Spectroscopic Technique for Intraoperative
Assessment of Gastrointestinal Tract Tissue Viability
during Gastrectomy
A.A. Krivetskaya, D.M. Kustov, V.V. Levkin,
S.S. Kharnas, T.A. Savelieva
- 37 Justification for the Simultaneous Use of Two Types
of Radiation (Radio Wave, Laser) Combined Surgical
Treatment of Rhinophyma
A.I. Kryukov, A.B. Turovskiy, I.G. Kolbanova,
N.V. Shvedov, V.V. Mosin
- 38 Fluorescent Diagnostics with Indocyanine Green -
The Experience of Using the Russian Device “MARS”
in Open Surgical Operations
S.G. Kuzmenko
- 38 Clinical Efficacy of the “Mustang” Apparatus in the
Treatment of Recurrent Aphthae of the Oral Cavity
in Children
M.V. Kuzmichevskaya, N.I. Sorokin,
A.G. Pashchevskiy, O.G. Avraamova,
Ya.A. Lavrovskaya
- 39 Clinical Efficacy of the “Optodan” Device in the
Treatment of Primary Caries in Teenagers after
Orthodontic treatment
M.V. Kuzmichevskaya, N.I. Sorokin,
A.G. Pashchevskiy, O.G. Avraamova,
Ya.A. Lavrovskaya
- 40 Antimicrobial Photodynamic Therapy in the
Treatment of Chronic Hyperplastic Laryngitis
D.I. Kurbanova, S.G. Romanenko, O.G. Pavlikhin,
E.V. Lesogorova, E.N. Krasilnikova, G.B. Shadrin
- 41 Blue Laser in the Surgical Treatment of Chronic
Rhinitis
A.V. Melenchuk, M.V. Nersesyan, V.I. Popadiuk,
A.V. Pikulenko
- 42 Fiber Lasers and Modern Medical Technologies
V.P. Minaev
- 43 The Leading Role in the Development of Laser
Medicine by the Outstanding Anatomist, Professor
Valentin Ivanovich Kozlov
M.V. Mikhalkina, A.P. Mikhalkin

- Вклад в развитие лазерной медицины известного анатома Республики Казахстан Алшинбая Рахисевича Рахисева
М.В. Михалкина, А.П. Михалкин 43
- Диодный лазер в амбулаторной стоматологической практике
Е.А. Морозова, С.Н. Разумова, С.М. Магомедова 44
- Патогенетическое обоснование сочетанного применения низкоинтенсивной лазерной терапии и препаратов бактериофагов в лечении гинекологической инфекции
Т.М. Мотовилова, Л.Г. Горшунцова 45
- Применение лазера с длиной волны 445 нм при ревизионной хирургии полисинуситов
В.В. Мунтян, М.В. Нерсисян, В.И. Попадюк, Х. Газаль, А.В. Меленчук, А.В. Пикуненко 46
- Опыт применения лазера с длиной волны 445 нм в ревизионной эндоскопической хирургии хронического полисинусита, ассоциированного с риносклеромой
В.В. Мунтян, М.В. Нерсисян, В.И. Попадюк, Х. Газаль, А.В. Пикуненко 46
- Экспериментальное обоснование необходимости интегрированного датчика распознавания типа ткани в новом тулиевом волоконном лазерном аппарате
М.В. Мурашкина, П.С. Козлова, А.И. Хижняк, Е.С. Ермилова, О.И. Байцаева, К.С. Масленкина, Л.М. Михалева, С.А. Будзинский, С.Г. Шаповальянц, В.А. Андреева, Е.Д. Федоров 47
- Экспериментальная оценка степени температурных изменений в стенке желчных протоков при использовании нового тулиевого волоконного лазера для внутрипротоковой контактной литотрипсии
М.В. Мурашкина, П.С. Козлова, А.И. Хижняк, Е.С. Ермилова, О.И. Байцаева, К.С. Масленкина, Л.М. Михалева, С.А. Будзинский, С.Г. Шаповальянц, В.А. Андреева, Е.Д. Федоров 48
- Фотодинамическая терапия в лечении послеоперационной лимфорей: результаты клинической апробации
М.В. Неклюдова, Е.Н. Белов 49
- Влияние излучения диодного лазера на заживление и послеоперационную боль при удалении третьих моляров на нижней челюсти
М.Б. Оон, Н.М. Разумов, Е.А. Морозова 50
- Микрокоагуляция ФЛФ слизистой оболочки рта у пациентов с дефицитом кератинизированной десны
П.Р. Османов, Е.А. Морозова, Х.С. Латипов 50
- Применение метода лазерной доплеровской флоуметрии при проведении ортостатического теста у здоровых обследуемых
Д.В. Пашкова, Ю.А. Попова 51
- Синий лазер при ревизионной хирургии околоносовых пазух
А.В. Пикуненко, М.В. Нерсисян, В.И. Попадюк, А.В. Меленчук 52
- Оптимизация способов лечения врожденных гигантских пигментных невусов у детей различным лазерным излучением
С.А. Подурар, Н.Е. Горбатова, А.В. Брянтцев, А.С. Тертычный, Г.А. Варев, С.М. Никифоров, Я.О. Симановский, А.А. Сироткин, Г.П. Кузьмин 53
- Место лазерной ударно-волновой деструкции в лечении дистрофических заболеваний вульвы
Е.В. Полухова, М.М. Умаханова, В.В. Ежов 53
- Contribution to the Development of Laser Medicine by the Famous Anatomist of the Republic of Kazakhstan Alshinbai Rakhishevich Rakhishev
M.V. Mikhalkina, A.P. Mikhalkin 43
- Diode Laser in Outpatient Dental Practice
E.A. Morozova, S.N. Razumova, S.M. Magomedova 44
- Pathogenetic Justification of the Combined Use of Low-Intensity Laser Therapy and Bacteriophage Preparations in the Treatment of Gynecological Infection
T.M. Motovilova, L.G. Gorshunova 45
- 445 nm Laser Application in Revision Surgery of Polysinusitis
V.V. Muntean, M.V. Nersesyan, V.I. Popadyuk, H. Ghazal, A.V. Melenchuk, A.V. Pikulenko 46
- Experience of Using 445 nm Laser in Revision Endoscopic Surgery of Chronic Polysinusitis Associated with Rhinoscleroma
V.V. Muntean, M.V. Nersesyan, V.I. Popadyuk, H. Ghazal, A.V. Pikulenko 46
- Experimental Justification of the Need for an Integrated Tissue Type Recognition Sensor in a New Tullium Laser System to Ensure the Safety of Intraductal Contact Lithotripsy
M.V. Murashkina, P.S. Kozlova, A.I. Khizhnyak, E.S. Ermilova, O.I. Baytsaeva, K.S. Maslenkina, L.M. Mikhaleva, S.A. Budzinsky, S.G. Shapovaliants, V.A. Andreeva, E.D. Fedorov 47
- Experimental Evaluation of Temperature Changes during Thulium Fiber Laser Contact Lithotripsy in Bile Duct
M.V. Murashkina, P.S. Kozlova, A.I. Khizhnyak, E.S. Ermilova, O.I. Baytsaeva, K.S. Maslenkina, L.M. Mikhaleva, S.A. Budzinsky, S.G. Shapovaliants, V.A. Andreeva, E.D. Fedorov 48
- Photodynamic Therapy in the Treatment of Postoperative Lymphorrhea: Results of Clinical Testing
M.V. Neklyudova, E.N. Belov 49
- Effect of Diode Laser Radiation on Healing and Postoperative Pain during Removal of Third Molar Teeth on the Lower Jaw
M.B. Oon, N.M. Razumov, E.A. Morozova 50
- Microcoagulation of Oral Mucosa FLPH in Patients with Deficiency of Keratinized Gingiva
Osmanov P.R., Morozova E.A., Latipov H.S. 50
- Application of the Laser Doppler Flowmetry Method during a Tilt-test in Healthy Subjects
D.V. Pashkova, J.A. Popova 51
- Blue Laser in Revision Surgery of the Paranasal Sinuses
A.V. Pikulenko, M.V. Nersesyan, V.I. Popadyuk, A.V. Melenchuk 52
- Optimization of Treatment Methods Congenital Giant Pigmented Nevi in Children Exposed to Various Laser Radiation
S.A. Podurar, N.Ye. Gorbatoва, A.V. Bryantsev, A.S. Tertychny, G.A. Varev, S.M. Nikiforov, Ya.O. Simanovsky, A.A. Sirotkin, G.P. Kuzmin 53
- The Place of Laser Shock Wave Destruction in the Treatment of Dystrophic Vulvar Diseases
E.V. Polukhova, M.M. Umakhanova, V.V. Yezhov 53

- Изменение оптических характеристик здоровой кожи и псориатической бляшки после ультрафиолетового облучения
И.А. Разницына, М.Е. Штыфлюк, Е.Д. Абалухова, А.Б. Молочков
- CO₂ лазерный аблативный фракционный фототермолиз в лечении хронической анальной трещины
П.В. Родин, С.А. Коротков, О.С. Евтодий, Е.Ю. Потемкина, Е.И. Харабет
- Лазерное ассистирование при операции трансплантации свободного десневого лоскута с неба
Н.В. Романенко, М.А. Вергун, Н.А. Благушина, И.Ю. Лизунова, С.В. Тарасенко
- Экспериментальное обоснование применения лазерного излучения с длиной волны 445 nm в клинической стоматологической практике
Н.В. Романенко, Н.Б. Серезжникова, Н.М. Шоркин, С.В. Тарасенко
- Морфологические изменения рубцовой ткани при фракционной CO₂ лазерной абляции обширных послеожоговых рубцов у детей
А.Н. Рошчупкина, О.С. Бычкова, С.М. Батаев, И.В. Зябкин, О.В. Щербаклова, Э.И. Алиева, М.В. Цаца, М.С. Голубев, Т.С. Полевикова
- Фотодинамическая терапия в лечении рака кожи критических анатомических локализаций
М.В. Рябов, Е.Ф. Странадко
- Эволюция транскутанных сосудистых лазеров для лечения сосудистой патологии кожи
Д.А. Сафин, Н.И. Артемов, А.Г. Нарбутов, Ю.А. Поляев
- Микробиологическое обоснование применения диодного лазера с длиной волны 970 nm при лечении пациентов с воспалительными заболеваниями полости рта
А.В. Селунина, Е.А. Морозова
- Лазерная энуклеация опухолей мочевого пузыря: прошлое, настоящее и будущее
Д.В. Смирнова, Р.Н. Симанов, П.И. Ковчур
- Сравнение послеоперационных осложнений после лазерной деструкции геморроидальных узлов при мощности 8, 9, 10 Вт
Д.М. Созонов, А.А. Засорин
- Эффективность фотодинамической терапии и антибактериальной фотодинамической терапии в лечении венозных трофических язв в эксперименте *in vivo*
Н.О. Сомов, Б.В. Болдин, В.Ю. Богачев
- Фотодинамическая терапия рака некоторых органов желудочно-кишечного тракта
Е.Ф. Странадко, В.Л. Шабаров, М.В. Рябов, В.А. Морохотов
- Применение гибридных технологий в достижении надлежащего качества медицинской помощи больным геморроем
Д.А. Творогов, Л.Г. Дваладзе, В.П. Акимов, К.Н. Мовчан, М.В. Добрун
- Методы лазерной и эндоскопической хирургии в диагностике онкологических заболеваний верхних дыхательных путей
Л.В. Телегина, С.С. Пирогов, А.С. Водолеев, Н.В. Кутенева, Д.Г. Сухин, Е.В. Филоненко
- Оптические технологии в диагностике миниатюрных колоректальных неоплазий
И.В. Терехова, Д.В. Сазонов, В.А. Дуванский
- Перспективы использования комбинационного рассеяния света и флуоресценции для неинвазивной экспресс-диагностики плоскоклеточной карциномы органов
- 54 Changes in Optical Characteristics of Healthy Skin and Psoriatic Plaque after Ultraviolet Irradiation
I.A. Raznitsyna, M.E. Shtyflyuk, E.D. Abalukhova, A.V. Molochkov
- 55 Experience of CO₂ Laser Ablative Fractional Photothermolysis in the Chronic Anal Fissure Treatment
P.V. Rodin, S.A. Korotkov, O.S. Evtodij, E.Y. Potemkina, E.I. Kharabet
- 56 Laser-Assisted Free Gingival Graft Transplantation from the Palate
N.V. Romanenko, M.A. Vergun, N.A. Blagushina, I.Yu. Lizunova, S.V. Tarasenko
- 56 Experimental Justification of the Use of Laser Irradiation with a Wavelength of 445 nm in Clinical Dental Practice
N.V. Romanenko, N.B. Serezhnikova, N.M. Shorkin, S.V. Tarasenko
- 57 Morphological Changes in Scar Tissue during Fractional CO₂ Laser Ablation of Extensive Post-Burn Scars in Children
A.N. Roshchupkina, O.S. Bychkova, S.M. Bataev, I.V. Zyabkin, O.V. Shcherbakova, E.I. Alieva, M.V. Tsatsa, M.S. Golubev, T.S. Polevikova
- 58 Photodynamic Therapy in the Treatment of Critical Localizations of Skin Cancer
M.V. Riabov, E.Ph. Stranadko
- 59 Evolution of Transcutaneous Vascular Lasers for the Treatment of Vascular Skin Pathology
D.A. Safin, N.I. Artemov, A.G. Narbutov, U.A. Polyayev
- 60 Microbiological Rationale for the Use of a 970 nm Diode Laser in the Treatment of Patients with Inflammatory Diseases of the Oral Cavity
A.V. Selunina, E.A. Morozova
- 61 Laser Enucleation of Bladder Tumours - Past, Now and Future
D.V. Smirnova, R.N. Simanov, P.I. Kovchur
- 61 Comparison of Postoperative Complications after Laser Destruction of Hemorrhoidal Nodes with 8, 9, 10 W
D.M. Sozonov, A.A. Zasorin
- 62 Efficacy of Photodynamic Therapy in the Treatment of Venous Trophic Ulcers: Results from the Experiment
N.O. Somov, B.V. Boldin, V.Yu. Bogachev
- 63 Photodynamic Therapy of Cancer of Some Organs of the Gastrointestinal Tract
E.Ph. Stranadko, V.L. Shabarov, M.V. Riabov, V.A. Morokhotov
- 64 Medical Care for Patients with Hemorrhoids
D.A. Tvorogov, L.G. Dvaladze, V.P. Akimov, K.N. Mouchan, M.V. Dobrun
- 64 Methods of Laser and Endoscopic Surgery in the Diagnosis of Oncological Diseases of the Upper Respiratory Tract
L.V. Telegina, S.S. Pirogov, A.S. Vodoleev, N.V. Kuteneva, D.G. Sukhin, E.V. Filonenko
- 65 Optical Technologies in the Diagnosis of Diminutive Colorectal Neoplasia
I.V. Terekhova, D.V. Sazonov, V.A. Duvanskiy
- 66 Prospects of Using Raman Scattering and Fluorescence for Non-Invasive Express Diagnosis of Head and Neck Squamous Cell Carcinoma
A.B. Timurzieva, V.I. Kukushkin, V.A. Duvansky,

- А.Б. Тимурзиева, В.И. Кукушкин, В.А. Дуванский,
В.И. Попадюк
- Неинвазивная экспресс-диагностика заболеваний уха
- А.Б. Тимурзиева, В.И. Кукушкин, В.И. Попадюк,
В.А. Дуванский
- Предварительные результаты лазерной интерстициальной терапии в лечении объёмных образований позвоночника
- С.А. Туранов, А.В. Иваненко, А.В. Кудзиев,
Е.В. Адиева, Д.А. Ситовская
- Экспериментальное исследование регионарного кровотока и лимфооттока жевательной мышцы в раннем восстановительном периоде ишемии головного мозга
- М.В. Улога, В.В. Астахов, А.А. Борхуннов
- Определение размеров анатомических структур методом опорного лазерного пучка
- Г.В. Фомов, Д.В. Гарага, А.В. Воронов, В.И. Чукита
- Влияние лучевой терапии на результат глазного протезирования у пациентов с анофтальмом
- М.А. Фролов, В.В. Шклярчук, Т.З. Фам,
С.В. Мельниченко, Л.В. Шклярчук
- Применение высокоинтенсивного волоконного лазера с длиной волны 1,94 мкм при хирургическом лечении пациентов с эпителиальными дисплазиями слизистой оболочки рта
- Г.М. Хисамиева, М.А. Степанов, О.А. Свитич
- Опыт применения лазерных вмешательств у больных с кистой Бейкера, рецидивом варикозной болезни, множественными телеангиоэктазиями
- А.И. Чернооков, Н.Ю. Коробова, А.С. Вищипанов,
О.М. Дондуп, Э.А. Шентак, О.Г. Устинов,
Д.А. Рудковская, С.А. Абрамян
- V.I. Popadyuk
- 66 Non-Invasive Express Diagnostics of Ear Diseases
A.B. Timurzieva, V.I. Kukushkin, V.I. Popadyuk,
V.A. Duwansky
- 67 Results of Laser Interstitial Thermotherapy in the Treatment of Spinal Tumor
S.A. Turanov, A.V. Ivanenko, A.V. Kudziev,
E.V. Adieva, D.A. Sitovskaia
- 68 Experimental Study of Regional Blood Flow and Lymph Outflow of the Masticatory Muscle in the Early Recovery Period of Cerebral Ischemia
M.V. Uloga, V.V. Astashov, A.A. Borkhunov
- 68 Determination of the Sizes of Anatomical Structures Using the Supporting Laser Beam Method
G.V. Fomov, D.V. Garaga, A.V. Voronov, V.I. Chukita
- 69 Effect of Radiation Therapy on the Outcome of Ocular Prosthetics in Patients with Anophthalmos
M.A. Frolov, V.V. Shklyaruk, T.D. Pham,
S.V. Melnichenko, L.V. Shklyaruk
- 70 The Use of a High-Intensity Fiber Laser with a Wavelength of 1.94 μm in the Surgical Treatment of Patients with Oral Epithelial Dysplasia
G.M. Khisamieva, M.A. Stepanov, O.A. Svitich
- 70 Experience of Using Laser Interventions in Patients with Baker's Cyst, Recurrent Varicose Veins, Multiple Telangiectasia
A.I. Chernookov, N.Y. Korobova, A.S. Vishchipanov,
O.M. Dondup, E.A. Sheptak, O.G. Ustinov,
D.A. Rudkovskaya, S.A. Abramyan

ЛУЧЕВАЯ ТЕРАПИЯ

- Сравнение планов тотального облучения тела и таргетного облучения костного мозга и лимфойдной системы у детей с онкогематологическими заболеваниями
- А.А. Логинова, А.О. Лисовская, Ф.Я. Канестри,
Ю.М. Воеводина, А.В. Нечеснюк
- Автоматизация процессов лучевой терапии: оптимизация оконтуривания в лучевой терапии с помощью машинного обучения
- Ю.А. Кудашкина, О.А. Рыжикова, А.А. Куфелкина,
П.И. Блиганов, М.В. Черных
- Оценка чувствительности трёхмерного массива детекторов к специально внедрённым ошибкам в параметрах МЛК при проведении лучевой терапии с модуляцией интенсивности
- Ю.С. Ларькин, Т.А. Крылова, И.М. Лебеденко,
М.П. Шатенко

ОБЗОР

- Технологический прогресс в магнитно-резонансной томографии
- А.С. Лагутин, Г.Ю. Григорьев

Календарь научных форумов

RADIATION THERAPY

- 72 Comparison of Total Body Irradiation and Targeted Bone Marrow and Lymphoid System Irradiation Plans in Children with Oncohematological Diseases
A.A. Loginova, A.O. Lisovskaya, F.Y. Kanestry,
U.M. Voevodina, A.V. Nechesnyuk
- 79 Automation of Radiotherapy Processes: Optimization of Contouring in Radiotherapy Using Machine Learning
Yu.A. Kudashkina, O.A. Ryzhikova, A.A. Kufelkina,
P.I. Bliganov, M.V. Chernykh
- 92 Assessment of the Sensitivity of a Three-Dimensional Array of Detectors to Specially Introduced Errors in the MLC Parameters During Intensity Modulation Radiation Therapy
Y.S. Larkin, T.A. Krylova, I.M. Lebedenko,
M.P. Shatenok

REVIEW

- 102 Technological Progress in Magnetic Resonance Imaging
A.S. Lagutin, G.Y. Grigoriev
- 128 **Medical Physics Events Calendar (In Russian)**

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ “СКОБЕЛКИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ”

4 июня 2025 г., Москва

16 июня 2023 г. в г. Москве состоялась Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием “Лазерная медицина в России: прошлое, настоящее, будущее”, посвященная 100-летию Олега Ксенофонтовича Скобелкина. Её проведение стало значительным вкладом в развитие междисциплинарных исследований по разработке, изучению и клиническому применению лазерных технологий в медицине. На конференции были представлены актуальные тематические разделы: лазерные хирургические технологии; лазерные технологии в дерматологии и косметологии, гинекологии, стоматологии, офтальмологии, оториноларингологии; фотодинамическая терапия, лазерная биомедицинская диагностика, современная лазерная техника для медицины. На пленарном и 11 секционных заседаниях конференции были представлены вниманию слушателей 78 докладов. В работе конференции в очном и онлайн формате приняли участие 976 специалистов. География отечественных участников включала более 30 регионов России от Владивостока до Калининграда. В конференции участвовали коллеги из 8 стран ближнего и 16 дальнего зарубежья. Конференция столь высокого научно-организационного уровня в области лазерной медицины впервые проведена в одном из ведущих российских университетов Российском университете дружбы народов имени Патриса Лумумбы. Принятое решение проводить научно-практическую конференцию по лазерной медицине в стенах Университета ежегодно воплотилось в проведении 28 июня 2024 г. в Российском университете дружбы народов конференции “Скобелкинские чтения. Лазерные и оптические технологии в эндоскопии и эндоскопической хирургии”.

4 июня 2025 г. в г. Москве в Российском университете дружбы народов прошла научно-практическая конференция “Скобелкинские чтения. Лазерные технологии в медицине”.

На конференции ведущими учеными были представлены передовые университеты России: Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Российский университет медицины им. А.И. Евдокимова, Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Центральная государственная медицинская академия УДП РФ, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Петрозаводский государственный университет, Приволжский исследовательский медицинский университет, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Ульяновский государственный университет, Уральский государственный медицинский университет, Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого.

Результаты научных исследований представили авторитетные научные центры и ведущие клиники нашей страны: НМИЦ радиологии, МОНИКИ имени М.Ф. Владимирского, НИИ неотложной детской хирургии и травматологии, НМИЦ ФПИ Минздрава РФ, ФНКЦ ФМБА России, Северо-Западный окружной научно-клинический центр им. Л.Г. Соколова ФМБА России, ФНКЦ детей и подростков ФМБА России, МБУ ИНО ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, НМИЦ ТО им Н.Н. Приорова. В рамках междисциплинарных исследований результаты своей научной работы пред-

ставили Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, НИИ общей патологии и патофизиологии, НИЦ Курчатовский институт, ГНЦ РФ Институт медико-биологических проблем РАН, НИИМЧ им. акад. А.П. Авцына, ФГБНУ РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского, Институт физики твердого тела им. Ю.А. Осипяна РАН.

В работе конференции в очном и онлайн формате приняли участие ученые, врачи-специалисты, аспиранты, ординаторы и студенты, из всех регионов России и стран ближнего зарубежья.

Организационный комитет конференции искренне признателен редакционной коллегии журнала “Медицинская физика” за проявленный интерес к работе конференции и предоставленную возможность публикации тезисов докладов на страницах столь уважаемого журнала.

*Председатель организационного комитета конференции
профессор Дуванский Владимир Анатольевич*

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БЕЛКОВЫЕ ФРАКЦИИ РОТОВОЙ ЖИДКОСТИ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ХРОНИЧЕСКОГО ПАРОДОНТИТА

*А.А. Ал Саррадж, А.А. Чунихин
Российский Университет Медицины МЗ РФ,
Москва*

Цель: Хронический пародонтит является широко распространенным заболеванием в современной стоматологии, достигает практически 100 %. Применение традиционных способов лечения зачастую недостаточно эффективно. Актуальным является поиск новых методов лечения, в том числе и с применением лазерных технологий, а также изучение влияния на белковые фракции в полости рта, участвующие в регулировании воспалительных процессов.

Материал и методы: В исследовании участвовали 60 пациентов с хроническим пародонтитом средней степени, разделенных на две равные группы исследования. В I (основной) группе применялась технология двухволновой беспигментной лазерной фотоабляции с использованием диодного лазера с длинами волн 1265 нм и 765 нм в наносекундном импульсном режиме. Во II (сравнения) группе исследования была использована фотодинамическая терапия с применением диодного лазера с длиной волны 660 нм и предварительной аппликацией фотосенсибилизатором хлорин Е6. Перед началом лечения в обеих группах была проведена профессиональная гигиена полости рта. Непосредственно перед и после проведения лечения на 3 и на 7 сутки в обеих группах осу-

ществлялся забор ротовой жидкости при помощи бумажных штифтов. Сравнительный анализ уровня D-димера, sIgA и цистатина С в ротовой жидкости проводился с помощью биохимического анализа.

Результаты: В I группе до проведения лечения содержание D-димера в ротовой жидкости составляло $17,7 \pm 1,33$ нг/мл, во II группе содержание D-димера составило $12,6 \pm 1,82$ нг/мл. Уровень цистатина С в I группе составил $0,21 \pm 0,03$ мкг/мл, во II – $0,16 \pm 0,02$ мкг/мл. Уровень sIgA в I группе составил $6,93 \pm 0,24$ мг/л, во II – $5,26 \pm 0,13$ мг/л. Количество D-димера у пациентов I группы на 3 сутки составило $24,5 \pm 2,67$ нг/мл, в то время как во II группе уровень D-димера продолжал расти и достиг $43,4 \pm 5,25$ нг/мл. На 3 сутки наблюдения уровень цистатина С в I группе значительно увеличился до $0,42 \pm 0,02$, во II группе уровень цистатина С составил $0,18 \pm 0,01$ мкг/мл. Уровень sIgA на 3 сутки в I группе увеличился до $10,7 \pm 1,29$ мг/л, тогда как во II группе было отмечено значительное снижение данного показателя до $0,80 \pm 0,02$ мг/л. Уровень D-димера на 7 сутки в I группе повысился до $28,5 \pm 2,43$ нг/мл, а во II группе содержание D-димера снизилось в два раза – $24,5 \pm 2,78$ нг/мл. Уровень цистатина С в ротовой жидкости на 7 сутки у пациентов I группы снизился до $0,17 \pm 0,01$ мкг/мл, во II группе также наблюдалось снижение уровня цистатина С до $0,14 \pm 0,02$ мкг/мл. На 7 сутки уровень sIgA в I группе снижался до $1,60 \pm 0,04$ мг/л, во II группе – до $0,43 \pm 0,04$ мг/л.

Заключение: Результаты проведенного биохимического исследования ротовой жидко-

сти у пациентов с хроническим пародонтитом средней тяжести свидетельствуют о различиях динамики изменений показателей в зависимости от примененного метода лечения с помощью лазерных технологий. На основании сравнительного анализа между двумя методиками лечения с применением лазерных технологий можно сделать вывод, что двухволновая беспигментная лазерная фотоабляция в наносекундном импульсном режиме с применением диодного лазера имеет больший потенциал ускоренного восстановления состояния тканей и эффективности контроля воспалительных процессов.

ОСТРЫЙ ПОСТОПЕРАЦИОННЫЙ БОЛЕВОЙ СИНДРОМ НА ФОНЕ МЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОСЛЕ СЛОЖНОГО УДАЛЕНИЯ ЗУБА

Р.Б. Али¹, И.В. Кастыро¹, В.А. Заборова²,
С.Г. Драгунова¹, Д.К. Юдин¹

¹ Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва

² Первый Московский государственный
медицинский университет им. И.М. Сеченова,
Москва

Цель: Оценить эффективность применения низкоинтенсивного лазерного облучения (ЛО) в снижении острого постоперационного болевого синдрома (ПОБС) в раннем периоде у пациентов со сложным удалением зуба.

Материал и методы: Все пациенты (18–44 года) со сложным удалением зуба были распределены на 4 группы. В первую группу вошло 28 пациентов, которым не проводилось ЛО. Во 2-й группе (32 человека) применялась лазерная излучающая головка ЛО-904-25 с магнитной зеркальной насадкой ЗМ-50. Импульсная мощность излучения в данной группе составляла 10 Вт, а частота излучения – 80 Гц. В 3-й группе (30 пациентов) применяли стоматологические насадки из набора С-1 совместно с лазерной излучающей головкой ЛО-904-25 в области сформированной после удаления зуба лунки. Импульсная мощность излучения в данной группе составляла 7 Вт, а частота излучения – 80 Гц. В 4-й группе (29 чел.) использовалась лазерная головка с длиной волны 0,63 мкм (лазерная головка КЛО 635-15), излучающая непрерывный красный спектр. Мощность излучения составляла 10 мВт, частота излучения –

635 нм. Время экспозиции насадок и головок во всех группах составляло 3 минуты в проекции удаленного зуба. Всем пациентам ЛО проводили через 1 час, 24 и 48 часов после хирургического вмешательства и в эти же сроки оценивали острый болевой синдром при помощи визуально-аналоговой шкалы (ВАШ) в мм.

Результаты: Согласно критерию Вилкоксона, в 1-й группе острый болевой синдром, оцениваемый по визуально-аналоговой шкале, в группе пациентов без применения ФБМТ через час после удаления зуба ПОБС был значительно ниже, чем через 3 часа ($p < 0,04$), а на 24-й час он достоверно вырос, по сравнению с предыдущим сроком его оценки ($p < 0,029$). Во 2-й группе через 3 часа острая боль значительно увеличилась ($p < 0,049$), далее через 24 часа она значительно снизилась ($p < 0,042$) и практически отсутствовала через 48 часов после хирургических манипуляций ($p < 0,0002$). В 3-й группе острая боль достигла своего пика на 3-й час ($p < 0,018$), а через 24 часа ($p < 0,03$) и 48 часов ($p < 0,047$) она достоверно снижалась и через двое суток практически отсутствовала. В 4-й группе максимальную боль возникла через 3 часа ($p < 0,007$). Через сутки ПОБС значительно снизился, по сравнению с 3-мя часами ($p < 0,023$), и продолжил уменьшаться через 48 ч. ($p < 0,041$). В среднем уровень болевого синдрома по ВАШ соответствовал очень слабой боли. Согласно критерию Манна–Уитни, через 3 часа после операции в 1-й группе уровень боли был значительно выше, чем 2–4-й группах ($p < 0,022$, $p < 0,034$ и $p < 0,048$ соответственно). Во 2-й группе острая боль была достоверно ниже, чем во 3-й группе ($p < 0,045$) и в 4-й группе ($p < 0,037$). Через 24 часа болевой синдром во всех группах снизился, но оставался самым высоким в 1-й группе, по сравнению с 2-й ($p < 0,014$), 3-й ($p < 0,032$), и 4-й группами ($p < 0,05$). Во 2-й группе ПОБС был значительно ниже, чем в остальных группах с ЛО (3-я и 4-я группы – $p < 0,049$ и $p < 0,011$ соответственно). Согласно критерию Стьюдента, через 48 часов после операции пациенты 2-й группы пациенты практически не испытывали болевых ощущений и ее уровень в этой группе был значительно ниже, чем в 3-й и 4-й группах ($p < 0,0012$ и $p < 0,001$ соответственно).

Заключение: Применение лазерной терапии в первые часы и дни после сложного удаления зуба приводит к снижению острого болевого синдрома.

**ДОЗАЗАВИСИМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В
СЫВОРОТОЧНОМ ГОМЕОСТАЗЕ ПРИ
ДЕЙСТВИИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ,
ВЫЯВЛЯЕМЫЕ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ
КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

И.Б. Алчинова¹, О.И. Ковалева¹, М.Ю. Копаева²,
А.Б. Черепов^{1,2}, М.Ю. Карганов¹

¹ НИИ общей патологии и патофизиологии,
Москва

² НИЦ “Курчатовский институт”, Москва

Цель: Риск для здоровья, связанный с терапевтическим либо профессиональным радиационным воздействием, и его причинно-следственная связь с возникшими заболеваниями могут быть выявлены только в результате длительных и детальных радиобиологических и эпидемиологических исследований. Это обуславливает поиск новых системных биомаркеров, позволяющих оценивать производимые облучением эффекты.

Целью работы стала оценка динамики субфракционного состава сыворотки крови в зависимости от дозы облучения.

Материал и методы: Работа выполнена на 2–2,5-месячных самцах мышей линии С57BL/6. Мыши были разделены на четыре группы по характеру воздействия: опытные (Обл0,5, $n = 7$; Обл7,5, $n = 7$) и контрольные (К0,5, $n = 7$; К7,5, $n = 7$). Животные из опытных групп были подвергнуты тотальному воздействию гамма-излучения на установке ГУТ-200М от источника ⁶⁰Со (НИЦ “Курчатовский институт”) до средней поглощенной дозы 0,5 Гр и 7,5 Гр соответственно. Через 3 и 30 дней после облучения часть животных анестезировали изофлураном и декапитировали с последующим забором цельной крови, отделяли сыворотку. Измерения проводили на лазерном корреляционном спектрометре ЛКС-03 (“ИНТОКС”, Санкт-Петербург) после размораживания образцов при комнатной температуре и разбавления физиологическим раствором в соотношении 1:10. Исследуемую сыворотку в объеме 0,2 мл заливали в кювету ЛКС. Измерения проводили при частоте 16384 кГц в количестве 2000 накоплений.

Результаты: Результатом обработки полученных спектров являлись гистограммы распределения вклада в светорассеяние частиц, присутствующих в жидкости. Выявлены различия как в зависимости от дозы, так и от времени после облучения. Так, на третий день в сыворотке

крови мышей, облученных дозой 0,5 Гр, преобладали частицы размером от 27 до 50 нм, а при дозе 7,5 Гр – от 67 до 223 нм. На тридцатый день после облучения 7,5 Гр в сыворотке выявлено сильное преобладание частиц размером от 4 до 15 нм, что, свидетельствует о деструктивных процессах в клетках.

Заключение: Показана информативность метода лазерной корреляционной спектроскопии для динамической оценки изменений в сывороточном гомеостазе после облучения. Предлагаемый нами подход позволяет определить происходящие в организме метаболические сдвиги на донозологической стадии.

Работа выполнена в рамках ГЗ ФГБНУ “НИИОПП” “Оценка физиологического баланса организма при воздействии экстремальных факторов среды” (FGFU-2025-0003) и ГЗ НИЦ “Курчатовский институт”.

**ЛАЗЕРНАЯ ДИАГНОСТИКА
МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ В КОЖЕ
ПРИ МАССАЖЕ ЛИЦА**

Е.Е. Аронина, Е.В. Сидякин

Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва

Цель: В миопластическом массаже лица используются глубокие движения, изменяющие пластичность мимических мышц с целью улучшения метаболических процессов кожи и омоложения. Ранее показано изменение параметров микроциркуляции в коже после массажа лица. Для планирования курса массажа необходимо исследовать отсроченную реакцию микроциркуляции в коже (МЦ) после глубоких техник массажа с целью контроля результатов процедур.

Материал и методы: Исследована микроциркуляция в коже 5 женщин в возрасте 43–51 года в области межбровья и мышцы гордецов с помощью лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) на аппарате “Лазма ПФ” в течение 4 минут. Затем сделан миопластический массаж в течение 30 минут и проведено повторное измерение МЦ. Всего сделано 3 процедуры массажа с измерением МЦ с перерывом в 3 дня. Рассчитаны показатели МЦ в коже лица: М – характеризующий интенсивность МЦ; СКО – колебания потока эритроцитов; коэффициент вариации (Кв), отражающий эффективность метаболических процессов в тканях. Полученные ре-

зультаты обработаны методами вариационной статистики.

Результаты: Миопластический массаж приводит к улучшению показателей МЦ. До первой процедуры средние показатели составили: $M 13,8 \pm 5$ перф. ед., $СКО 1,4 \pm 0,3$ перф. ед., $Кв 10,6 \pm 2$ %. Перед третьей процедурой показатели достоверно не изменились, но наблюдалась тенденция к росту величины M и $СКО$. Достоверно вырос $Кв$ – до $17,5 \% \pm 4$, что свидетельствует об усилении интенсивности тканевой перфузии. При этом измерения $Кв$ до и после массажа в каждой процедуре оказались недостоверны, что указывает на необходимость оценивать эффективность метаболических процессов после перерыва и адаптации капиллярного кровотока к изменениям пластичности тканей.

Заключение: Методика ЛДФ информативна при выборе программы массажа лица. Наиболее показательным, по нашим данным, является коэффициент вариации $Кв$. Измерения необходимо проводить перед каждой процедурой.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТОЛАЗЕРОТЕРАПИИ НА МИКРОЦИРКУЛЯТОРНОЕ РУСЛО В ПОВЗДОШНОЙ ОБЛАСТИ У ЗДОРОВЫХ ЛЮДЕЙ

*М.С. Арясов, К. Альхатиб, И.В. Кастыро,
П.В. Михальская, С.Е. Мороз
Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва*

Одним из основных и опасных осложнений в пластической хирургии при выполнении липоабдоминопластики является ишемия и некроз лоскута. Патогенез данного осложнения напрямую зависит от степени активности микроциркуляторной системы, которая обеспечивает лоскут. На сегодняшний день существуют следующие способы профилактики: гипербарическая кислородная терапия, фототерапия, вибрационная терапия, гирудотерапия. В литературе подробно описана эффективность лазерной терапии – облученные лоскуты имели четкую тканевую структуру и меньшую инфильтрацию воспалительных клеток при окрашивании гематоксилином и эозином, а количество артериол и капилляров в облученном лоскуте было значительно больше, чем в контрольной группе. Однако в изученных нами работах

воздействие на ткани и оценка эффективности были описаны в рамках подхода к лечению уже возникшей ишемии. В нашем исследовании мы поставили цель выяснить влияние магнитолазерной терапии на микроциркуляторное русло с целью использования ее в рамках предоперационной подготовки для улучшения питания тканей.

Цель: Оценить влияние магнитолазерной терапии (МЛТ) на динамику изменения количества капилляров в подвздошной области у здоровых молодых людей.

Материал и методы: Были сформированы 3 группы испытуемых, в каждой группе было 16 человек: 8 мужчин и 8 женщин, молодой возрастной группы (от 18 до 44 лет). Первой группе процедура была выполнена однократно, во второй группе применялось двухкратное воздействие с интервалом 5 минут, третьей группе процедуру выполняли 3 раза с интервалом 5 минут между сеансами. После каждого этапа с помощью капилляроскопа Areiron (Китай) осуществляли захват кадров для подсчета количества капиллярных петель с целью оценки динамики их количества, подсчет осуществлялся в единицах. Размеры оцениваемой зоны составляли 10×10 мм. Процедура выполнялась на лазерном физиотерапевтическом аппарате “Лазмик” (“Матрикс” г. Москва). Зоны воздействия были определены в 3 см и в 6 см от пупка по линии к ости подвздошной кости. Для выполнения исследования использовалась лазерная головка с импульсным излучением с применением магнитной насадки на правой половине живота и зеркальной насадками на левой. Время сеанса МЛТ составило 2 минуты с частотой излучения 80 Гц и мощностью 6,5 Вт. Подсчет капиллярных петель осуществляли в программе ImageJ. Сравнения производили с использованием критерия Стьюдента, критерия Уилкоксона при использовании программы Stat-Plus Build 8.0.3./Core v7.8.11. Данное исследование было одобрено локальным этическим комитетом согласно протоколу №1, 2025 г.

Результаты: После анализа полученных данных нами были сделаны следующие выводы. Уже после первой процедуры увеличивается количество визуализированных капиллярных петель в среднем на 28,6 % ($p < 0,00003$), что свидетельствует об усилении кровотока в микроциркуляторном русле. При двухкратном воздействии количество капилляров увеличивается в среднем на 63 % ($p < 0,00044$), а при трехкратном – на 85 % ($p < 0,01172$) соответ-

ственно. При сравнении эффективности установлено, что при однократном воздействии больший рост присутствует при использовании зеркальной насадки (средний прирост 33,7 % ($p < 0,002$) против 23,7 % ($p < 0,004$), однако при двух- и трехкратном выполнении процедуры большую эффективность обеспечивает магнитная насадка (увеличение в среднем на 75,7 % ($p < 0,01$) и 102,5 % ($p < 0,06$) соответственно против 50,4 % ($p < 0,01$) и 67,6 % ($p < 0,07$). Полученные результаты свидетельствуют об эффективности магнитолазерной терапии как метода усиления микроциркуляторного русла: увеличивается наполняемость и количество капиллярных петель, что согласуется с данными литературы.

Заключение: Таким образом, было установлено, что проведение сеансов МЛТ активно влияет на капиллярную сеть. После выполненной процедуры МЛТ наблюдается увеличение количества капиллярных петель, что говорит об усилении кровотока и наполнении капиллярных петель. На основании этого мы можем сказать, что магнитолазерная терапия является эффективным способом усиления микроциркуляторного кровотока, что может быть использовано в рамках предоперационной подготовки для усиления питания тканей в целях профилактики послеоперационных осложнений. При этом использование магнитной насадки является более эффективным по сравнению с зеркальной, так как идет более быстрое увеличение количества капиллярных петель.

МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОЖИ И ПОПЕРЕЧНО- ПОЛОСАТОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ГОЛЬМИЕВОГО ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА

В.В. Асташов¹, П.В. Новокрещенов¹,
В.И. Козлов¹, В.А. Дуванский¹, С.А. Филатова²,
И.А. Ерохина¹, А.А. Борхунов¹

¹ Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва

² Институт общей физики им. А. М. Прохорова
РАН, Москва

Цель: Изучение морфофункциональных преобразований в коже и поперечно-полосатой мышечной ткани после воздействия высокоэнергетического излучения волоконного гольмиевого лазера.

Материал и методы: Исследование выполнено на 30 мышцах-самцах породы С57 В16, массой от 25 до 30 г, содержащихся в виварии Российского университета дружбы народов. Исследования одобрены этическим комитетом Медицинского института РУДН. Животные 1-й группы (интактные) использовались в качестве контрольных. В остальных 2 группах выполняли разрез кожи и поперечно-полосатой мышечной ткани (сгибатели бедра) под наркозом “Золетил 100” (Virbac, Франция) с помощью гольмиевого лазера (длина волны 2100 нм, непрерывный режим излучения, мощность 1,5 Вт, скорость реза 1,0 мм в сек.), протяженность разреза 0,7–0,8 см. Крово- и лимфоток исследовали методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛАЗМА МЦ, ООО НПП “ЛАЗМА”, Россия) на 3-е сутки в двух точках – рядом с разрезом и на расстоянии 5 мм. После эвтаназии животных на 3-е сутки для гистологических исследований забирали участок кожи, расположенный на расстоянии 5 мм латерально от задней срединной линии, и фрагмент поперечно-полосатой мышцы бедра. Проводили микроскопическое исследование гистологических препаратов кожи и мышцы на микроскопе “Optica” при увеличении в 10 и 40 раз. Результаты оценивали с помощью стандартных статистических методов.

Результаты: На 3 сутки исследования в лазерной ране кожи и мышечной ткани выявлены признаки формирования асептического воспаления, в ране выделяли зону абляции, зону коагуляции, зону воспалительного отека. При морфометрии общий поперечный размер лазерной раны мышечной ткани на 3 сутки был меньше, чем лазерной раны кожи. В сравнении со структурной организацией кожи, при воздействии лазерного излучения с аналогичными параметрами на мышцу выявлен ряд отличий: абсолютные значения зоны абляции, зоны некроза и зоны термического повреждения меньше. Подобная морфологическая реакция может быть обусловлена увеличением поглощения лазерного излучения молекулами воды в мышечной ткани при длине волны 2100 нм гольмиевого лазерного излучения. Лазерное излучение запускает механизм активации микроциркуляции крови по периферии от линии разреза, изменяя вазомоторные ритмы, с последующим изменением регионарного лимфотока.

Заключение: Таким образом, структурные преобразования в коже и мышце при воз-

действию гольмиевого лазера приводят к сопряженным изменениям микроциркуляции крови и лимфотока на краю лазерной раны и по периферии от линии разреза.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ Nd-YAG ЛАЗЕРНОЙ КООГУЛЯЦИИ В ЛЕЧЕНИИ ВЕНОЗНОЙ МАЛЬФОРМАЦИИ ПОЛОВОГО ЧЛЕНА У ДЕТЕЙ

О.С. Бычкова^{1,2}, А.Н. Рошупкина^{1,2},
С.М. Батаев^{1,2,3}, И.В. Зябкин^{1,2},

О.В. Щербакова¹, Э.И. Алиева^{1,3}, М.В. Цаца¹,
М.С. Голубев^{1,2}, Т.С. Полевикова^{1,2}

¹ Федеральный научно-клинический центр
детей и подростков ФМБА России, Москва
² Российский национальный исследовательский
медицинский университет им. Н.И. Пирогова
Минздрава РФ, Москва

³ Медико-биологический университет
инноваций и непрерывного образования ФМБЦ
им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

Введение: Венозная мальформация – это врожденный порок развития сосудов венозного русла, встречающееся в соотношении 1–2 случая на 10 тыс. населения. Патологические сосуды могут иметь различный диаметр, распространенность и локализоваться на любом участке тела. Венозная мальформация полового члена – крайне редкая локализация для данного заболевания. В мировой литературе описаны единичные случаи лечения венозной дисплазии полового члена у детей.

Клиническая картина зависит от диаметра пораженных сосудов, их количества, распространенности, а также наличия возможных осложнений (воспаление сосудистой стенки, образование тромбов и тромбоэмболия, трофические нарушения).

Заболевание диагностируется как при рождении, так и в более позднем возрасте. Характеризуется медленным прогрессирующим течением, с увеличением размеров и распространенности патологического очага. В некоторых случаях патологический очаг с течением времени не изменяется.

Материал и методы: Для проведения лечения был использован аппарат AEROLASE, генерирующий излучение с длиной волны 1064 нм, длительностью импульса 650 микросекунд, и запатентованная технология Aerolase, USA “MicroPulse 650 мкс”.

Методика воздействия: на сухую охлаждаемую поверхность в проекции патологического венозного очага наносят серию импульсов следующих друг за другом, зона за зоной, без наложения. Плотность энергии – 71 Дж/см² (режим 5), частота следования импульсов 1,5 Гц. Сначала производилась обработка центральной части патологического участка, затем периферии.

Результаты: Через 1 месяц после лазерной трансдермальной коагуляции патологических венозных сосудов был проведен осмотр и инструментальное обследование для оценки результата лечения. Патологический участок практически не определяется, границы размыты с едва определяющимся единичным патологическим венозным сосудом до 1 мм в диаметре. Положительная динамика подтверждена при повторном УЗИ. Подобным способом было выполнено 2 операции у детей с венозной мальформацией полового члена. Отдаленные результаты оценены через 1,5 и 3 года. В обоих случаях был получен хороший функциональный и косметический результат.

Заключение: Применение лазерной коагуляции патологических венозных сосудов наружной локализации является эффективным и безопасным методом лечения венозной дисплазии головки полового члена у детей любого возраста.

ЛЕЧЕНИЕ РЕЦИДИВИРУЮЩИХ НОСОВЫХ КРОВОТЕЧЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАЗЕРА У ДЕТЕЙ

С.Г. Вахрушев^{1,2}, Ю.С. Чупракова^{1,2}

¹ Красноярский государственный медицинский
университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого
МЗ РФ, Красноярск

² ООО “Институт ЛОР технологий”,
Красноярск

Цель: Носовое кровотечение – распространенная патология в практике врача оториноларинголога. В клинической практике носовые кровотечения рассматриваются как симптом какого-либо заболевания и кодируются лишь одним кодом в МКБ. Чаще всего рецидивирующие носовые кровотечения встречаются в детском возрасте. К сожалению, распространенные методы остановки носового кровотечения в общей клинической практике (передняя тампонада носа, прижигание кровотокащего

сосуда нитратом серебра) могут приводить к таким серьезным осложнениям как атрофия слизистой оболочки, перфорация перегородки носа, а также к психоэмоциональному стрессу пациента.

Материал и методы: В доступной нам литературе лазерная коагуляция сосудов полости носа различными лазерами (лазеры на красителях, диодные лазеры) описывается как процедура эффективная, но достаточно болезненная и повреждающая слизистую оболочку перегородки носа (формирование струпа, длительная регенерация).

Мы же основывались на теории селективного фототермолиза, предложенной в 1983 г. Свет с определённой длиной волны способен избирательно воздействовать на хромофоры тканей (меланин, гемоглобин и вода). Хромофоры поглощают свет по-разному. Поэтому для каждого существует свой спектр поглощения и, выбрав длину волны, можно прицельно воздействовать на них. Лазер с длиной волны 450 нм имеет пик поглощения в оксигемоглобине. Учитывая распространенность носовых кровотечений, а также анатомические особенности зоны Киссельбаха–Литтла (расширенная сеть капилляров, расположенная непосредственно под тонкой слизистой оболочкой), мы изучили применение лазерной коагуляции в лечении рецидивирующих носовых кровотечений у детей.

С 2023–2025 гг. нами обследовано и пролечено 87 пациентов детского возраста с рецидивирующими носовыми кровотечениями из зоны Киссельбаха–Литтла, средний возраст составил 9,8 лет. Пациентам проводилась лазерная коагуляция сосудов передней трети перегородки носа в амбулаторных условиях. Процедура проводилась под аппликационной анестезией, с помощью лазера с длиной волны 450 нм, мощностью 5 Вт, в дистантном режиме. В связи с минимальным воздействием на слизистую оболочку передней трети перегородки носа, требовалось от трех до пяти процедур до полной коагуляции сосудов.

Результаты: Нами отмечено, что после 3–5 сеансов лазерной коагуляции сосудов перегородки носа, носовые кровотечения купируются. Рецидивы в отдаленном периоде случаются в редких случаях (нарушения системы гемостаза в анамнезе или травмы носа).

Заключение: Таким образом, лазерная коагуляция сосудов перегородки носа является эффективным способом лечения рецидивирующих носовых кровотечений у детей. Процедура

проста в выполнении, исключает повреждение слизистой оболочки и повышает качество жизни пациента.

НОВАЯ ДЛИНА ВОЛНЫ 675 НМ В КОРРЕКЦИИ ГИПЕРПИГМЕНТАЦИИ ЛЮБОГО ГЕНЕЗА

Т.А. Володькина¹, С.В. Мураков^{2,3}, И.В. Серая¹,
Л.М. Сулейман¹

¹ ООО “Эстетические технологии”, Академия
постдипломного образования ФГБУ, Москва

² Федеральный научно-клинический центр
специализированных видов медицинской
помощи и медицинских технологий ФМБА
России, Москва

³ ООО “Лотос 288”, Москва

Цель: Гиперпигментация – одна из наиболее частых жалоб в кабинете врача – дерматолога-косметолога. Пигментация может быть эпидермальной, дермальной и смешанной, иметь ограниченный или распространенный характер. Для диагностики и постановки правильного диагноза применяются инструментальные диагностические исследования – люминисцентная лампа Вуда (340–400 нм), дерматоскопия, аппарат для 3D-визуализации Antera 3D. Для лечения гиперпигментации применяют наружную терапию (отбеливающие кремы, химические пилинги), инъекционные методы (мезотерапия, введение обогащенной тромбоцитами плазмы (PRP), световые и лазерные методики.

Материал и методы: В своей практике для коррекции гиперпигментации применяем лазер Red Touch с длиной волны 675 нм. Red Touch – новая лазерная система, обладающая неаблационным фракционным воздействием, одним из хромофоров данной длины волны является меланин. 30 пациентам женского пола, европеоидной расы, в возрасте от 28 до 66 лет, с диагнозом гиперпигментации была проведена диагностика при помощи лампы Вуда и аппарата Antera 3D (для оценки содержания уровня меланина). Диагноз мелазмы был выставлен 20 пациенткам, веснушек (эфелидов) – 6 пациенткам, лентиги – 4 пациенткам. Появление пигментации связывают с ультрафиолетовым излучением, а также связывают с семейным анамнезом/наследственностью. Проведены 4 процедуры на аппарате Red Touch, с интервалом 1–1,5 месяца. Процедура проводится по

прозрачному ультразвуковому гелю, «пятно к пятну», прямой контакт сапфирового наконечника с кожей, а благодаря встроенной системе охлаждения повреждение эпидермиса не происходит. Процедура комфортная, безболезненная. После процедуры отмечалось потемнение пигмента. Реабилитация проходила без особенностей.

Результаты: Нами отмечено, что после проведенной лазерной терапии у пациенток уменьшилась гиперпигментация, выровнился общий тон лица, снизилась реактивность сосудов кожи лица. Данные изменения были замечены как визуально, так и при сканировании кожи на аппарате Antera 3D (снижение показателей по меланину и гемоглобину).

Заключение: Таким образом, результаты проведенной терапии показали, что новая лазерная система Red Touch (675 нм) может применяться для коррекции гиперпигментации любого генеза.

КОМБИНИРОВАННЫЙ ПОДХОД С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ПОРАЖЕНИЙ КРОВЕНОСНЫХ СОСУДОВ В ОБЛАСТИ ГОЛОВЫ И ШЕИ У ДЕТЕЙ

*Е.Ю. Гавеля, В.В. Рогинский, А.Г. Надточий
НМИЦ "Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии" МЗ РФ, Москва*

Цель: Разработка и внедрение комбинированных методов лечения с использованием лазеров различных видов с различными поражениями кровеносных сосудов в области головы и шеи у детей.

Материал и методы: В группу исследования вошли пациенты с мальформациями кровеносных сосудов капиллярного типа – 106 набл., с венозными мальформациями – 89 набл., с гиперплазиями кровеносных сосудов (т.н. младенческие гемангиомы) в стадии резидуальных проявлений – 78 набл. обследованных и пролеченных с 2015–2024 гг. на базе детской клиники ФГБУ НМИЦ "ЦНИИС и ЧЛХ" г. Москвы.

Для диагностики всем пациентам наряду с клиническими методами применялись дополнительные методы (ультрасонография с доплерографией, компьютерная капилляроскопия,

магнитно-резонансная томография, патоморфологическое исследования).

Результаты: Разработаны показания, запатентованы и внедрены в практику два высокоэффективных малоинвазивных метода лечения детей с различными поражениями кровеносных сосудов, с использованием различных видов лазеров. Проведено и проанализировано лечение детей с мальформациями кровеносных сосудов капиллярного типа и остаточных телеангиэктазий при гиперплазии кровеносных сосудов в резидуальной стадии, с использованием импульсного лазера на красителях с длиной волны 595 нм. Впервые применен в лечении детей с различными поражениями кровеносных сосудов в области головы и шеи метод открытой и закрытой лазерной коагуляции с использованием гольмиевого лазера, что позволяет повысить эффективность проводимого лечения и добиться стойкого результата. Проведено и проанализировано лечение детей с мальформациями кровеносных сосудов капиллярного типа и остаточных телеангиэктазий в резидуальной стадии гиперплазии кровеносных сосудов методом импульсной фототерапии. В клинике применялась селективная импульсная фототерапия на аппарате Vbeam Perfecta, фирмы Candela – 160 пациентов. Из них у детей с гиперплазией кровеносных сосудов ($n=54$), с капиллярной мальформацией ($n=106$), отдаленные результаты лечения показали стойкий эстетический результат. Данный метод лечения применялся с целью коррекции резидуальных телеангиэктазий после применения бета-блокаторов местного или системного действия, после хирургического лечения и как монометод. В лечении детей с венозными мальформациями применялась лазерная коагуляция с использованием HO:Yag-лазер (аппарат VersaPulsa Power Suite P 20, фирмы Lumenis) двумя способами: закрытый способ ($n=8$); открытый способ (комбинированный метод – хирургический, с лазерной коагуляцией) ($n=81$). Проведено и проанализировано лечение детей с мальформациями кровеносных сосудов и с гиперплазиями кровеносных сосудов (стадия резидуальных проявлений) с применением метода открытой или закрытой лазерной коагуляции. При капиллярных мальформациях – как предварительный этап для воздействия на посткапиллярные венулы, перед завершающим проведением импульсной фототерапии (комбинированный метод) ($n=3$). Использовалась при лечении гиперплазии кровеносных сосудов (стадия резидуальных проявлений), в комбинации с хирургией – 24 пациента.

Заключение: Впервые предложены и запатентованы современные методы лечения сосудистых поражений, таких как гиперплазия кровеносных сосудов (т.н. младенческая гемангиома), различные сосудистые мальформации, с использованием гольмиевого лазера в челюстно-лицевой хирургии. Они позволяют достичь полного удаления патологического очага с сосудами при комбинированном хирургическом методе с лазерной коагуляцией, с последующей коррекцией анатомической области лица или шеи, что обуславливает высокий функциональный и эстетический результат. Лечение детей с капиллярными мальформациями с использованием импульсного лазера на красителях в настоящее время является золотым стандартом и даёт стойкий, хороший эстетический результат. На завершающих этапах лечения остаточных проявлений гиперплазии кровеносных сосудов эффективно проведение импульсной фототерапии импульсным лазером на красителях, с длиной волны 595 нм.

СОВРЕМЕННЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ЛЕЧЕНИИ СОСУДИСТЫХ ПАТОЛОГИЙ ПОЛОВОГО ЧЛЕНА И ОРГАНОВ МОШОНКИ У ДЕТЕЙ

Э.Н. Гасанова, А.Г. Дорофеев, А.В. Брянцев,
М.В. Григорьева, О.О. Саруханян
Научно-исследовательский институт
неотложной детской хирургии и
травматологии – клиника доктора Рошаля,
Москва

Актуальность: Сосудистые патологии мужских половых органов у детей являются редким явлением, и в научной литературе зарегистрированы лишь единичные случаи. На сегодняшний день отсутствуют медицинские исследования, предоставляющие четкие рекомендации по лечению таких патологий. Сохранение фертильности играет ключевую роль в выборе метода лечения наряду с эстетическими аспектами.

Цель: Повышение эффективности лечения пациентов детского возраста с сосудистыми патологиями полового члена и мошонки с применением современных лазерных технологий.

Материал и методы: В НИИ НДХиТ в течение последних трех лет было оперировано 5 пациентов мужского пола с различными сосудистыми патологиями половых органов: 1 пациент с венозной мальформацией головки поло-

вого члена, 2 пациента с венозной мальформацией мошонки, 1 пациент с лимфатической мальформацией придатка яичка и 1 пациент с гемангиомой мошонки. Диагнозы были установлены с использованием ультразвукового исследования с доплерографией (УЗИ с ЦДК) и магнитно-резонансной томографии с контрастированием. Хирургическое лечение проводилось под наркозом с использованием лазерного хирургического аппарата ЛСП “ИРЭ-Полус”, генерирующий волн двух длин – 0,97 мкм и 1,56 мкм. Метод интерстициальной лазерной фотодеструкции применялся при мальформации головки полового члена и гемангиоме мошонки; остальным пациентам было выполнено комбинированное лечение, включающее хирургическое иссечение мальформаций и лазерную деструкцию остаточных сосудистых элементов. Эффективность лечения оценивалась с помощью УЗИ с ЦДК через 7, 30, 90 дней и 1 год после операции.

Результат: Прецизионно удалены все патологические сосудистые структуры, достигнут надежный гемостаз и минимизировано термическое повреждение окружающих тканей, что обеспечило хорошие клинические и эстетические результаты, а также исключило необходимость повторного хирургического вмешательства.

Заключение: Применение лазерных технологий для лечения сосудистых патологий полового члена и органов мошонки у детей продемонстрировало свою эффективность в столь сложных анатомических локализациях.

СТИМУЛЯЦИИ ЛАЗЕРОМ ЗЕЛЕННОГО СПЕКТРА РЕГЕНЕРАЦИИ ПЕЧЕНИ ПОСЛЕ ХИРУРГИЧЕСКОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ

Е.С. Головнева, И.В. Еловских
Южно-Уральский государственный
медицинский университет, Челябинск

Цель: Стимуляция регенерации и тканей после повреждений является актуальной медицинской проблемой. Структурные и функциональные нарушения паренхимы печени достаточно распространены в клинической практике и провоцируются не только заболеваниями, но и с проводимым хирургическим лечением, таким как резекции опухолей, паразитарных инвазий и т.п. Обычно регенеративного потенциала печени достаточно для самостоятельного восстановления ткани, но при хронических

тяжелых заболеваниях и резекции свыше 80 % объема, этих ресурсов может быть недостаточно. Влияние фотостимуляции в зеленом спектре на биологические ткани на сегодняшний день достаточно мало изучено. Цель настоящего исследования – анализ влияния зеленого лазерного воздействия на репарацию печени с хирургическим повреждением.

Материал и методы: В эксперименте было использовано 42 половозрелых крысы линии Вистар, выделяли три группы: 0 группа – контрольная (неповрежденная печень); I группа – клиновидная резекция доли печени на глубину 1 см и шириной 0,5 см без дополнительных воздействий; II группа – резекция в сочетании с воздействием зеленого лазера. Воздействие лазерным излучением производилось сразу после резекции печени на оставшуюся часть ее доли при помощи лазера “Малахит” (Россия) с длиной волны 520 нм, мощность 0,5 Вт, в непрерывном режиме и экспозицией 120 с. Животных выводили на 1, 7, 14 сутки эксперимента. Материал фиксировали нейтральным формалином. Гистологические срезы печени окрашивались гематоксилин-эозином и иммуногистохимическим методом с использованием антител к ki-67. Морфометрически подсчитывали ядерно-цитоплазматическое отношение (ЯЦО) гепатоцитов, количество двуядерных гепатоцитов, и индекс экспрессии ki-67. Результаты статистически обрабатывали по критерию Манна–Уитни.

Результаты: Визуальная оценка зоны резекции печени показала, что в группе лазерного воздействия с 7-ых суток эксперимента площадь сформированного рубца была меньше по сравнению с контролем, спайки между поверхностью печени и другими органами были не выражены. Ядерно-цитоплазматическое отношение гепатоцитов у животных с клиновидной резекцией росло на протяжении всего эксперимента. При этом в группе воздействия зеленого лазера ЯЦО было достоверно выше, чем в группе контроля на 1, 7 и 14-е сутки. Также в опытной и в контрольной группе увеличивалось количество двуядерных гепатоцитов, но на сроках 1 и 7-е сутки показатель был достоверно выше в группе воздействия зеленым лазером. Индекс экспрессии ki-67 в группе лазерного воздействия был достоверно выше показателей динамического контроля на 7-е сутки эксперимента.

Заключение: После хирургического повреждения печени воздействие зеленым лазером активизирует процессы репаративной реге-

нерации паренхимы, что может являться базой для разработки методик стимуляции восстановления тканей после хирургических вмешательств.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНТРАОПЕРАЦИОННЫХ И РАННИХ ПОСЛЕОПЕРАЦИОННЫХ ОСЛОЖНЕНИЙ ЛАЗЕРНОЙ ЦИКЛОКОАГУЛЯЦИИ ПРИ ГЛАУКОМЕ ТЕРМИНАЛЬНОЙ СТАДИИ

К.Е. Гостева, Н.Н. Гостева

*Пензенская областная офтальмологическая
больница, Пенза*

Цель: Несмотря на несомненные успехи антиглаукомной фармакотерапии и микрохирургии, терминальная болящая глаукома не уходит с пьедестала насущных проблем офтальмологии. С целью аналгезии и сохранения глаза как органа применяется лазерная транссклеральная циклокоагуляция (ЛТСЦК), которая является приоритетной в лечении данной тяжелой патологии. ЛТСЦК проводится в непрерывном или микроимпульсном режиме. Обязательная составляющая хирургии – осложнения – имеет место при обеих методиках.

Материал и методы: В период 2022–2024 гг. при лечении глаукомы терминальной стадии, сопровождающейся болевым синдромом, нами с органосохраняющей и аналгезирующей целью произведена ЛТСЦК 203 пациентам (203 глаза). 1 группа: 88 ЛТСЦК в непрерывном режиме, 2 группа: 115 ЛТСЦК в микроимпульсном режиме. Все операции производили под ретробульбарной и инстилляционной анестезией. Применяли аппарат АЛОД-01, Алком Медика, Россия. Длина волны лазерного излучения 810 нм, мощность 2000 мВт. Воздействие производили в 2 мм от лимба, минуя зоны 3 и 9 ч. В 1-й группе производили стационарные аппликации на проекцию цилиарного тела в количестве 7 точек в каждом квадранте; экспозиция 2 с, суммарная энергия 112 Дж. Во 2-й группе рабочий цикл 30 %; экспозиция 50 с в каждом квадранте, производили равномерное скользящее движение лазерного зонда. Суммарная энергия составила 120 Дж.

Результаты: У 24 пациентов 1-й гр. интраоперационно мы наблюдали обширную субконъюнктивальную геморрагию, а в раннем послеоперационном периоде – 19 случаев усиления болевого синдрома, 22 случая реактивной гипертензии, 19 случаев посткоагуляционного иридо-

циклита и 13 случаев гифемы. Во 2-й гр. нами отмечено 60 случаев обширной субконъюнктивной геморрагии интраоперационно, а в раннем послеоперационном периоде 15 случаев посткоагуляционного увеита и 9 случаев реактивной гипертензии. Усиления болевого синдрома, гифемы не отмечено.

Заключение: Таким образом, интраоперационное осложнение в виде субконъюнктивной геморрагии, прогностически незначимое, присутствовало чаще во 2-й гр. Такие наиболее значимые ранние послеоперационные осложнения, как реактивная гипертензия и посткоагуляционный иридоциклит, чаще встречались в 1-й гр., там же присутствовали гифема и усиление болевого синдрома, тогда как во 2-й гр. они не отмечены. В целом лазерная циклокоагуляция в микроимпульсном режиме лучше перенесется пациентами, страдающими глаукомой терминальной стадии, сопровождающейся болевым синдромом.

ЛАЗЕРНОЕ ЛЕЧЕНИЕ РЕЦИДИВИРУЮЩЕГО ГЕМОФТАЛЬМА ПРИ ПРОЛИФЕРАТИВНОЙ ДИАБЕТИЧЕСКОЙ РЕТИНОПАТИИ

Н.Н. Гостева, К.Е. Гостева

Пензенская областная офтальмологическая больница, Пенза

Цель: Несмотря на все успехи современной офтальмологии в лечении пролиферативной диабетической ретинопатии, рецидивирующий гемофтальм остается наиболее частым ее осложнением, нивелирующим произведенную ранее кропотливую работу – панретинальная лазеркоагуляция сетчатки, интравитреальное введение ингибиторов ангиогенеза, имплантация глюкокортикоида, микроинвазивная витрэктомия. Частота его по разным данным составляет до 75 %, число рецидивов в год до 6. Очередной внезапно возникший гемофтальм вызывает резкое снижение остроты зрения, дезориентацию пациента, особенно если поражает ведущий или единственный видящий глаз. Продукты гемолиза стимулируют фиброваскулярную пролиферацию, замыкая порочный круг.

Материал и методы: В период 2019–2024 гг. курированы 86 пациентов с диагнозом рецидивирующего гемофтальма, частота 2–6 в год. Применялся следующий алгоритм лечения: в 1-е сутки после поступления пациента в клинику мы проводили трансклеральную диодную лазер-коагуля-

цию периферии сетчатки (аппарат АЛОД-01 Алком Медика, Россия; 810 нм). На сроке до 3 суток от возникновения заболевания применяли гемостатическую терапию, позже 3 суток – рассасывающую. Назначали ферментный препарат вобэнзим на 1 месяц. При повторном осмотре в случаях достаточной визуализации глазного дна выявляли сосуд или васкуляризованный тяж – источник гемофтальма, производили его прямую транспупиллярную лазеркоагуляцию и дополнительную панретинальную лазеркоагуляцию вокруг источника (аппарат Visulas Trion, Zeiss; 532 нм). При недостаточной визуализации глазного дна повторяли трансклеральную диодную лазеркоагуляцию.

Результаты: При лечении методом трансклеральной диодной лазеркоагуляции периферии сетчатки на фоне лекарственной терапии нами отмечено активное рассасывание гемы в стекловидном теле оперированного глаза, повышение остроты зрения на 0,08–06. При последовавшем выявлении источника гемофтальма произведена его транспупиллярная лазер-коагуляция с дополнительной панретинальной лазеркоагуляцией. Это позволило уменьшить тяжесть рецидивов гемофтальма и снизить их частоту до 0–1 в год. Срок наблюдения 1–5 лет.

Заключение: Таким образом, трансклеральная диодная лазер-коагуляция периферии сетчатки на фоне лекарственной терапии с последующей прямой транспупиллярной лазеркоагуляцией источника кровотечения являются высокоэффективным способом лечения рецидивирующего диабетического гемофтальма, позволяющим добиться стабилизации зрения и уменьшения частоты рецидивов.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛАЗЕР-КОАГУЛЯЦИИ ХРОНИЧЕСКИХ МИКРОАНЕВРИЗМ В ЛЕЧЕНИИ ДИАБЕТИЧЕСКОГО МАКУЛЯРНОГО ОТЕКА

Н.Н. Гостева, К.Е. Гостева, А.В. Ржавитина
Пензенская областная офтальмологическая больница, Пенза

Цель: Лечение диабетического макулярного отека представляет известные трудности как ввиду хронического характера заболевания, нарушения всех видов обмена веществ и особенностями самого органа зрения как одного из органов-мишеней. Вместе с тем, выявлены облигатно длительно сохраняющиеся источники ликеджа субретинальной и интраре-

тинальной жидкости – хронические микроаневризмы сетчатки, которые малозаметны в начале своего существования, но со временем становятся причиной торпидного макулярного отека, резистентного лечению. Лазер-коагуляция хронических микроаневризм представляет известные трудности по причине позднего обнаружения, большой высоты макулярного отека, приобретения им его кистозного характера и локального ретиношизиса.

Материал и методы: Нами в период 2018–2024 гг. проводилась курация 46 пациентов (46 глаз), страдающих диабетическим макулярным отеком, сопровождавшимся снижением остроты зрения. Все пациенты ранее получали интравитреальные инъекции ингибиторов ангиогенеза со временным эффектом. Во всех случаях офтальмоскопически и хромоскопически в макулярной зоне выявлены 1–2 хронические микроаневризмы, окруженные перифокальным отеком сетчатки, распространявшимся в зону фовеа, с характерным липидным кольцом. Оптическая когерентная томография выявила утолщение сетчатки, увеличение ее объема и иллюстрировала описанную характерную конфигурацию зоны отека. Произведена прямая лазеркоагуляция микроаневризм и перифокальной отечной сетчатки мультиволновым лазер-коагулятором Visulas Trion (зеленый 532 нм, желтый 561 нм и красный 659 нм лазеры), Zeiss. Во всех случаях удалось добиться стаза гемы в аневризме и побеления откоагулированной сетчатки независимо от толщины сетчатки, высоты отека и степени пигментации глазного дна пациента.

Результаты: Нами отмечено рубцевание микроаневризм и постепенное рассасывание липидов во всех случаях лечения у 31 пациента (67,4 %) сопровождавшееся повышением остроты зрения на 0,1–0,4. Визуализировано оптической когерентной томографией глазного дна и фоторегистрацией. Срок наблюдения 1–6 лет.

Заключение: Таким образом, лазер-коагуляция хронических микроаневризм сетчатки с использованием мультиволнового лазера является эффективным способом лечения диабетического макулярного отека. Прямая лазеркоагуляция хронических микроаневризм и перифокальной зоны приводит к их рубцеванию, прекращению ликеджа, резорбции существовавшей отечной жидкости и, как следствие, к снижению толщины макулярной сетчатки и ее

объема во всех случаях. При этом повышение остроты зрения наступило в 67,4 % случаев.

ВЛИЯНИЕ ВЕГЕТАТИВНОГО СТАТУСА НА СОСТОЯНИЕ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ У ДЕТЕЙ

О.А. Гурова, В.Н. Сахаров
Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва

Цель: Функционирование сердечно-сосудистой системы как на уровне центральной гемодинамики, так и микроциркуляции зависит от вегетативной регуляции. В процессе развития организма детей и подростков наблюдается постепенное усиление нейрогенного влияния на сердце и сосуды, что приводит к совершенствованию механизмов их регуляции. Представляет интерес изучение показателей микроциркуляции крови у детей 6–7 лет с разным вегетативным статусом.

Материал и методы: Показатели вегетативной регуляции получены при изучении вариабельности сердечного ритма (ВСР) на аппарате “Варикард” у 21 испытуемого 6–7 лет (14 девочек и 7 мальчиков). Состояние микроциркуляции крови у этих детей определяли методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) с помощью приборов ЛАЗМА ПФ одновременно в коже средних пальцев правой и левой кистей рук и больших пальцев правой и левой стоп. Использовали стандартные методики, статистический анализ проведен программой R с использованием непараметрических критериев.

Результаты: На основании оценки вариабельности сердечного ритма выявлены особенности вегетативной регуляции у обследованных детей. Для девочек была характерна склонность к симпатотонии, а у мальчиков – к ваготонии. Так, показатель уровня функционирования регуляторных систем (ПАРС) у девочек был достоверно выше ($p=0,04$), чем у мальчиков, как и частота сердечных сокращений, что согласуется с преобладанием у девочек симпатических влияний на сердце. Девочки имели высокие показателями активности симпатического сосудистого центра и вегетативного гомеостаза, среди мальчиков преобладали лица с более низкими показателями. В целом у девочек 6–7 лет, по сравнению с мальчиками, выявлено большее напряжение регуляторных систем сердечного ритма, что может свидетельствовать об активизации у них воз-

растных изменений в сердечно-сосудистой системе в этот период.

При изучении показателей микроциркуляции у детей 6–7 лет обнаружены признаки функциональной асимметрии верхних конечностей, что отсутствует у нижних конечностей. В сводной группе детей имеется достоверное различие показателя микроциркуляции ПМ между правой и левой кистью ($p=0,004$). В группе девочек на пальцах правой кисти отмечались достоверно более высокие показатели микроциркуляции ПМ ($p=0,01$), чем на пальцах левой кисти. У мальчиков различия не достоверны ($p>0,05$). Поскольку все обследованные дети относились к праворуким, асимметрия ПМ может быть обусловлена этим фактом. Выраженность асимметрии у девочек связана с более ранними возрастными изменениями, по сравнению с мальчиками. Активизация изменений на уровне микроциркуляции у девочек 6–7 лет проявляется также в неустойчивости соотношений ритмических составляющих общего спектра колебаний кровотока, что выявляется при частотно-амплитудном анализе ЛДФ-грамм.

Заключение: Таким образом, у девочек 6–7 лет возрастные изменения в сердечно-сосудистой системе протекают несколько раньше, чем у мальчиков данного возраста. Это может быть связано с выявленной у девочек склонностью к симпатотонии. Можно предполагать, что именно вегетативные механизмы регуляции опосредуют выявленную асимметрию кровотока на правых и левых кистях у детей 6–7 лет.

ЛАЗЕРНАЯ ФОТОТЕРМОДЕСТРУКЦИЯ ГИГРОМ ЛУЧЕЗАПЯСТНОГО СУСТАВА У ДЕТЕЙ

М.А. Дворникова, Н.Е. Горбатова, А.В. Брянцев,
Э.Н. Гасанова, С.А. Подурар, Р.Т. Налбандян
НИИ неотложной детской хирургии и
травматологии – Клиника доктора Рошаля
ДЗ, Москва

Актуальность: Гигромы у детей являются распространенным заболеванием и составляют до 60 % всех обращений детей в клиники с опухолевидными новообразованиями мягких тканей. Наиболее частой локализацией гигром в детском возрасте является область лучезапястного сустава (до 70 %). Гигромы независимо от локализации могут вызывать болевые ощущения, парестезии, нарушение функции суставов. Наличие данной патологии значительно ухудшает ка-

чество жизни молодых и активных пациентов, а также является косметическим дефектом. В настоящий момент существует множество различных консервативных и хирургических методов лечения данной патологии, однако не существует единого оптимального метода лечения, а результаты остаются неудовлетворительными, и количество рецидивов заболевания доходит, по данным литературы, до 50 %.

Цель: Определить эффективность способа пункционной эндоваквительной лазерной фототермодеструкции гигром лучезапястного сустава у детей.

Материал и методы: На базе НИИ НДХиТ за период с 2022 по 2025 гг. было пролечено 38 детей с гигромами лучезапястного сустава способом эндоваквительной лазерной фототермодеструкции. Возраст пациентов варьировал от 8 по 17 лет, среди которых преобладали девочки (57,9 %). Всем детям под местной анестезией пункционно выполнялась эндоваквительная фотодермодеструкция гигром при помощи лазерного излучения с длиной волны 1,94 мкм, генерируемого лазерным аппаратом ЛСП “ИРЭ-Полус”, Россия. Длительность непрерывного воздействия (3 ± 2 с) и мощность лазерного излучения (от 1 Вт до 3 Вт) определяли в зависимости от объема жидкостной части гигромы и ее размеров по данным эхосонаграфии. Клинический эффект после процедуры оценивали по данным объективного осмотра и обязательной эхосонаграфии через 7 дней, 3 месяца и 3 года.

Результаты: Способ пункционной эндоваквительной лазерной фототермодеструкции гигром области лучезапястного сустава обеспечил радикальный клинический результат у всех пациентов. В периоде наблюдения до 3-х лет осложнений и рецидивов заболевания у всех больных, пролеченных данным методом, не было.

Заключение: Способ лазерной фототермодеструкции показал себя как эффективный хирургический метод лечения гигром лучезапястного сустава у детей. Исследования его эффективности будут продолжены с целью дальнейшего внедрения способа эндоваквительной пункционной лазерной фототермодеструкции гигром в клиническую практику детской хирургии.

ТЕХНОЛОГИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ЦВЕТОВОГО ВЫДЕЛЕНИЯ В ОЦЕНКЕ ЯМОЧНОГО РИСУНКА ЭПИТЕЛИАЛЬНЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ ТОЛСТОЙ КИШКИ

В.А. Дуванский, А.В. Белков

Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва

Актуальность: Технологии оптической визуализации, применяемые в настоящее время, позволяют оценить ямочный рисунок эпителиальных новообразований толстой кишки и выбрать адекватный метод лечения [1]. Применение в клинике дополнительных технологий осмотра слизистой оболочки, таких как виртуальная хромокопия, увеличительная эндоскопия, аутофлуоресцентная диагностика, значительно повысили ценность эндоскопических исследований [2, 3].

Цель: Изучение возможностей модифицированного режима технологии спектрального цветового выделения для оценки ямочного рисунка эпителиальных новообразований толстой кишки.

Материал и методы: Проведен анализ результатов колоноскопии 80 пациентов с эпителиальными новообразованиями толстой кишки (171 новообразование). Эндоскопическая система FUJINON EPX-4400 HD, аппарат EC-590ZW с технологией спектрального цветового выделения (FICE). Использовали два режима: стандартный режим – (R 500, G 445, B 415); модифицированный режим – (R 580, G 500, B 415). Режимы оптимальны для оценки эпителиальных образований толстой кишки по классификациям Kudo. Распределение проводили по типу эпителиального образования (по Парижской классификации неоплазий): 0-Is – 50 образований (29,2 %), 0-Ip – 23 (13,4 %), 0-Isp – 16 (9,4 %), 0-IIa – 80 (46,8 %), 0-IIb – 2 (1,2 %). Статистическую оценку осуществляли при помощи вычисления критерия хи-квадрата Пирсона и четырехпольных таблиц по каждому признаку.

Результаты: Анализ эндоскопических изображений показал, что осмотр в модифицированном режиме в 6,6 раз имеет более четкое отображение ямочного рисунка. Для дополнительной характеристики статистических различий методов эндоскопического осмотра в белом свете и модифицированном режиме технологии спектрального цветового выделения применили метод оценки отношений шансов (OR)

при 95 % доверительном интервале. Анализ оценки OR позволил сделать следующие выводы: модифицированный режим технологии спектрального цветового выделения в 5,9 раз точнее определяет морфологический тип эпителиального образования толстой кишки, чем осмотр в белом свете.

Заключение: Модифицированный режим технологии спектрального цветового выделения позволяет проводить более точную диагностику эпителиальных новообразований толстой кишки на основе анализа ямочного рисунка и определять тактику лечения.

1. Дуванский В.А., Чесалина Я.О. Современные эндоскопические технологии в диагностике неоплазий толстой кишки // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2019. № 4 (164). С. 93-99.
2. Duvansky V.A., Knyazev M.V. Autofluorescent endoscopic diagnostics of epithelial neoplasms in the colon // Journal of Gastroenterology and Hepatology. 2015. Vol. 30. № S4. P. 211.
3. Князев М.В., Дуванский В.А., Агейкина Н.В. Тримодальная эндоскопия в диагностике заболеваний желудочно-кишечного тракта // Клиническая эндоскопия. 2012. № 4. С. 2.

ОЦЕНКА МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ У БОЛЬНЫХ ХРОНИЧЕСКОЙ ВЕНОЗНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ (СТАДИЯ С6)

В.А. Дуванский, М.М. Гутон, М.М. Мусаев
Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва

Актуальность: Лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) эффективна в оценке микроциркуляции у больных хронической венозной недостаточностью (ХВН). Нарушения микроциркуляции отличаются значительной вариабельностью [1]. Выявляемые нарушения регионарной микроциркуляции позволяют выявить структурные изменения самих капилляров, гемодинамические и реологические сдвиги [2, 3].

Цель: Оценить регионарную микроциркуляцию у больных с ХВН (стадия С6) методами лазерной доплеровской флоуметрии.

Материал и методы: Обследовано 24 больных с хронической венозной недостаточностью (стадия С6) по классификации CEAP [1]. Трофические язвы локализовались на медиальной поверхности голени у 15 (62,5 %) больных, на латеральной – у 9 (37,5 %) больных. Размеры язвенных дефектов у пациентов составляли до 5 см² у 10 (41,7 %) пациентов; от 6 до 10 см² – у 11 (45,8 %); от 11 до 15 см² были у 3 (12,5%) па-

циентов. Применяли лазерный анализатор капиллярного кровотока “ЛАКК-02”.

Результаты: Результаты исследования микроциркуляции показали, что у больных ХВН С6 реактивность микрососудов существенно понижается, что свидетельствует о глубоких нарушениях кровотока не только в магистральных сосудах, но и в системе микроциркуляции. Прогрессирующее снижение функционального резерва капиллярного кровотока происходит за счет нарушения состояния регуляторных механизмов сосудов. Расстройство микроциркуляции, в свою очередь, приводит к трофическим расстройствам мягких тканей, наблюдаемым при тяжелых стадиях ХВН. Снижение показателя микроциркуляции (ПМ) после проведения пультальной пробы свидетельствует о том, что на фоне имеющегося отека и расстройства микроциркуляции происходит снижение тканевого кровотока. Не исключен также сброс крови через поврежденные клапаны. При ЛДФ-метрии мы наблюдали прогрессивное “спектральное сужение” ЛДФ-граммы с существенным резким увеличением среднего показателя ПМ и дальнейшим снижением показателя среднего квадратичного отклонения, что свидетельствовало о глубоких расстройствах микроциркуляции. Отмечали выраженное подавление вазомоторного ритма и повышение высокочастотных колебаний (HF- и CF-ритм). Снижение индекса флуксуций свидетельствует о подавлении “активных” вазомоторных механизмов регуляции тканевого кровотока. Компенсаторное усиление “пассивных” механизмов модуляции тканевого кровотока способствует его некоторой стабилизации, однако не может в полной мере компенсировать сниженный уровень.

Заключение: Проведенные исследования микроциркуляции у больных с ХВН нижних конечностей (стадия С6) выявили значительные морфофункциональные изменения микроциркуляции.

1. Дуванский ВА, Азизов ГА. Особенности регионарной микроциркуляции у больных хронической венозной недостаточностью стадии С6. Лазерная медицина. 2011; 15 (1): 12-5.
2. Дуванский ВА. Фотодинамическая терапия и NO-терапия в комплексном лечении больных с трофическими язвами венозного генеза. Лазерная медицина. 2004; 8 (1-12): 5-8.
3. Козлов В.И., Дуванский В.А., Азизов Г.А., Сидоров В.В. Лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) и оптическая тканевая оксиметрия (ОТО) в оценке состояния и расстройств микроциркуляции крови: Методические рекомендации. М.: ФМБА России. М., 2014. 59 с.

ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ ХРОНИЧЕСКИХ РАН

В.А. Дуванский, М.М. Гутон, О.А. Щипков
Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва

Актуальность: Результаты наших первых клинических исследований фотодинамической терапии (ФДТ) гнойных заболеваний мягких тканей четверть века назад легли в основу запатентованных нами методик лечения с применением фотодинамической терапии: “Способ лечения гнойных заболеваний мягких тканей” RU 2164427 C1/1999, “Способ лечения длительно незаживающих ран и трофических язв” RU 2164426 C1/1999, “Способ лечения длительно существующих трофических язв” RU 2195930 C2 /2001 [1]. В ряде экспериментальных и клинических исследований показано влияние фотодинамической терапии на динамику микробной обсемененности ран, скорость очищения ран от гнойно-некротических масс и их заживления [2]. Работы по применению ФДТ в лечении хронических ран различного генеза и изучению ее влияния на репаративные процессы немногочисленны [3].

Цель: Оценить эффективность фотодинамической терапии хронических ран.

Материал и методы: Был проведен анализ результатов применения ФДТ в лечении 45 пациентов с хроническими ранами (венозные язвы). В контрольной группе проводили традиционное лечение. Для ФДТ применяли фотосенсибилизатор (ФС) Фотодитазин. Экспозиция ФС на ране 2 часа. Источником лазерного излучения служил аппарат “АТКУС-10”. Плотность энергии 25 Дж/см².

Результаты: Анализ проведенных гистологических исследований показал, что на 3 сутки после ФДТ выявило значительно большее очищение язвенной поверхности от гнойно-некротических масс, чем при традиционном лечении. Через 5 суток происходит контракция язвы за счет созревания грануляционной ткани и отмечается краевая эпителизация. Центральные отделы язв представлены фрагментарным тонким фибринозно-лейкоцитарным слоем, под которым выявляется созревающая грануляционная ткань. Обнаруживаются многочисленные вертикальные сосуды, сформирован слой горизонтальных фибробластов. Между капиллярными петлями выявляется большое количество макрофагов, фибробластов. Значительно уменьшается нейтрофильная ин-

филтрация. В большом количестве выявляются формирующиеся пучки фуксинофильных коллагеновых волокон. На 10-е сутки происходит более полная эпителизация язвенной поверхности в виде многорядного эпителиального пласта, дифференцирующегося на слои и четко выраженной базальной мембраной. Происходит дальнейшее созревание грануляционной ткани: уменьшается количество капилляров, слой горизонтальных фибробластов приобретает фрагментарный характер, появляются многочисленные пучки зрелых коллагеновых волокон. К 20 суткам практически у всех больных язвы эпителизированы полностью.

Заключение: Фотодинамическая терапия хронических ран ведет к быстрому очищению их от гнойно-некротических масс, уменьшению отека и воспалительной инфильтрации, раннему образованию грануляционной ткани и эпителизации фиброзно-рубцовой ткани.

1. Дуванский ВА, Азизов ГА. Особенности регионарной микроциркуляции у больных хронической венозной недостаточностью стадии С6. Лазерная медицина. 2011; 15 (1): 12-5.
2. Дуванский В.А., Толстых М.П., Петрин С.А. и др. Фотодинамическая терапия и экзогенный оксид азота в комплексном лечении гнойных ран мягких тканей // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2004. № 10. С. 59-62.
3. Дуванский ВА. Фотодинамическая терапия и NO-терапия в комплексном лечении больных с трофическими язвами венозного генеза. Лазерная медицина. 2004; 8 (1-12): 5-8.

АУТОФЛУОРЕСЦЕНТНАЯ ДИАГНОСТИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭПИТЕЛИАЛЬНЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ ЖЕЛУДКА

*В.А. Дуванский, М.В. Князев, А.В. Белков
Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва*

Актуальность: Возможности оптических технологий современной эндоскопии позволяют определить неопластический потенциал эпителиальных образований желудка на ранних этапах развития [1]. Эффективность эндоскопической диагностики неоплазий желудка обусловлена улучшением режимов оптической визуализации [2]. Аутофлуоресцентная диагностика позволяет провести дифференциальную диагностику новообразований желудка при эндоскопическом исследовании и выбрать адекватный метод лечения [3].

Цель: Установить зависимость вида аутофлуоресцентного (АФ) окрашивания эпители-

альных неоплазий от локализации по отделам желудка.

Материал и методы: При эзофагогастродуоденоскопии были выявлены эпителиальные образования желудка у 123 пациентов, возраст 22-83 года ($52 \pm 5,9$) мужчин – 46, женщин – 77. Применяли эндоскопическую видеосистему Olympus Lucera CV-260, с режимом аутофлуоресценции AF1. Фиксировали АФ окрашивание образований в пурпурный или зеленый цвет. С помощью сравнения доверительных интервалов определена зависимость АФ окрашивания в пурпурный цвет новообразований от локализации в теле или антральном отделе желудка. Всего было проанализировано 85 эпителиальных образований желудка, 41 локализовались в теле желудка и 44 – в антральном отделе. Пурпурное АФ окрашивание имели 47 образований, зеленое – 38.

Результаты: С целью оценки точности и надежности относительной величины частоты распределения АФО эпителиальных образований проведены расчеты средней квадратичной погрешности и доверительного интервала (ДИ) при 95 % совпадении для каждой локализации образований в теле и антральном отделе желудка по соответствующим формулам. Результат вычисления ДИ: для образований тела желудка, имеющих АФ окрашивание в пурпурный цвет, находятся в диапазоне $[0,4-0,81]$, а для образований антрального отдела желудка – в диапазоне $[0,3-0,66]$, перекрывая друг друга, т.е. различия между признаками сравнения статистически не значимы.

Заключение: Пурпурное окрашивание эпителиальных образований желудка не зависит от локализации в отделах желудка, зависит от гистологического строения, карциноматозные и аденоматозные структурные изменения придают АФ пурпурный цвет новообразованиям. Данная аутофлуоресцентная характеристика позволяет во время эндоскопического исследования получить дополнительную уточняющую информацию о гистологическом строении новообразования и выбрать адекватный метод лечения.

1. Дуванский В.А., Чесалина Я.О. Современные эндоскопические технологии в диагностике неоплазий толстой кишки // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2019. № 4 (164). С. 93-99.
2. Duvansky V.A., Knyazev M.V. Autofluorescent endoscopic diagnostics of epithelial neoplasms in the colon // Journal of Gastroenterology and Hepatology. 2015. V. 30. № S4. P. 211.
3. Князев М.В. Дуванский В.А. Эндоскопическое лечение гастроинтестинальных неоплазий - эволюция метода // Вестник хирургии им. И.И. Грекова. 2015. Т. 174. № 2. С. 130-134.

АУТОФЛУОРЕСЦЕНТНАЯ ДИАГНОСТИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭПИТЕЛИАЛЬНЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ ТОЛСТОЙ КИШКИ

В.А. Дуванский, М.В. Князев, А.В. Белков
Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва

Актуальность: Определение морфологической структуры эпителиальных новообразований толстой кишки во время проведения колоноскопии важно для выбора метода удаления новообразования. Современные эндоскопические технологии оптической визуализации позволяют решить это во время проведения исследования [1]. Перспективным методом визуализации является аутофлуоресценция [2]. Эндоскопическая аутофлуоресценция позволяет провести дифференциальную диагностику эпителиальных новообразований толстой кишки и выбрать адекватный метод лечения [3].

Цель: Установить зависимость вида аутофлуоресцентного окрашивания эпителиальных неоплазий толстой кишки от их размера.

Материал и методы: Колоноскопия была выполнена 1674 пациентам. Возраст пациентов составил $58 \pm 13,9$ лет, мужчин было 761 (45,5 %), женщин 913 (54,5 %). Эпителиальные новообразования были выявлены у 269 пациентов (16 %). Применяли эндоскопы Олимпас (Япония) CF-260 AL, оснащенные функцией аутофлуоресценции (AFI). Было изучено, зависит ли АФ окрашивание в пурпурный цвет эпителиальных новообразований от их размера и макроскопического строения. В основу анализа взята Парижская классификация неоплазий. Образования разделены на 3 группы: в 1-ю группу вошли образования меньше 0,5 см, это образования типов 0-IIb, 0-IIc. Во 2-ю группу вошли образования размером от 0,5 до 1 см, к ним относятся образования типа 0-IIa. 3-я группа – большие образования, 1 см и более. К ним относятся образования типа 0-Ip, 0-Is, 0-Ips и LST. В 1-й группе насчитывалось 68 образований, 38 из которых имели АФ окрашивание в пурпурный цвет, 30 – в зеленый. Во 2-й группе – 98 образований, 69 – пурпурный и 29 – зеленый. В 3-й группе – 103 образования, 96 – пурпурный и 7 – зеленый цвет АФ окрашивания.

Результаты: Соотношения количества пурпурно окрашенных к зелено окрашенным образованиям в первой группе составило – 1,27, во второй – 2,38, в третьей – 13,7. В качестве инструмента для сравнения групп между

собой применялся метод вычисления χ^2 -критерия Пирсона. Образованы пары сравнения групп 1/2, 2/3, 1/3, сравниваемый признак – пурпурное АФ окрашивание образований. Статистическим методом доказана высокая степень различия между 1 и 3, а также между 3 и 2 группами $p < 0,001$. Различия между группами 1 и 2 статистически значимы, но недостаточно при заданном нижнем пределе надежности $p < 0,05$. Чем больше эпителиальное образование толстой кишки, тем выше вероятность его АФ пурпурного окрашивания.

Заключение: Изучение показателей хи-квадрат критерия Пирсона для эпителиальных новообразований толстой кишки более 1 см и в диапазоне 0,5–1 см доказывает, что частота пурпурного аутофлуоресцентного окрашивания этих новообразований возрастает пропорционально их размеру ($\chi^2=33,6$ и $\chi^2=17,7$, $p < 0,001$).

1. Дуванский В.А., Чесалина Я.О. Современные эндоскопические технологии в диагностике неоплазий толстой кишки // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2019. № 4 (164). С. 93–99.
2. Duvansky V.A., Knyazev M.V. Autofluorescent endoscopic diagnostics of epithelial neoplasms in the colon // Journal of Gastroenterology and Hepatology. 2015. V. 30. № S4. P. 211.
3. Князев М.В. Дуванский В.А. Эндоскопическое лечение гастроинтестинальных неоплазий - эволюция метода // Вестник хирургии им. И.И. Грекова. 2015. Т. 174. № 2. С. 130–134.

ФОТОДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕРАПИЯ ОГНЕСТРЕЛЬНЫХ РАН (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

В.А. Дуванский, Е.Ф. Шин, М.М. Гупон
Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва

Актуальность: Фотодинамическая терапия (ФДТ) с различными фотосенсибилизаторами (ФС) показала свою эффективность в лечении ран различного генеза [1]. ФС нового поколения обладают низкой токсичностью, высокой селективностью накопления в пораженных тканях и низкой терапевтической дозой вводимых препаратов [2]. Работы по применению ФДТ в лечении огнестрельных ран с ФС нового поколения перспективны [3].

Цель: Оценить эффективность фотодинамической терапии огнестрельных ран в эксперименте.

Материал и методы: Проведен эксперимент на 70 нелинейных крысах. Наносили огнестрельную рану, применяли раствор фотосенсибилизатора (ФС) 0,5 % в растворе димексида 25 %. В другой опытной группе ФС был в форме геля. Экспозиция 2 часа, затем раневую поверхность облучали лазерным излучением. Плотность мощности – 1 Вт/см². Плотность энергии – 50 Дж/см². Длина волны – 661±0,03 нм. Аппарат “АКТУС-2”.

Результаты: Микробиологические исследования показали: в контрольной группе животных на третьи сутки лечения число микробных тел продолжало оставаться на изначально высоком уровне в пределах $1 \times 10^{9-10}$ КОЕ. При традиционном лечении некоторая тенденция к уменьшению исследуемого показателя выявляли к исходу пятых суток наблюдений (1×10^7 КОЕ). Несмотря на проводимую терапию уровень микробной обсемененности раневой поверхности продолжал оставаться высоким и в последующие сроки исследования. И на десятые сутки наблюдений он оставался на уровне 1×10^7 КОЕ в 1 мл раневого отделяемого. На третьи сутки у крыс, получавших фотодинамическую терапию с комплексом микрокапсулированный фотодитазин - амфифильный полимер форме геля, наблюдали выраженное снижение микробной обсемененности раневой поверхности по сравнению с опытной группой. Число микробных тел в 1 мл раневого отделяемого находилось в пределах 1×10^6 КОЕ. Отмечали четкую тенденцию к снижению до безопасного уровня на пятые сутки наблюдений (1×10^5 КОЕ). И в дальнейшем он не повышался. На десятые сутки лечения, в большинстве случаев, показатель микробной обсемененности раневой поверхности был значительно ниже критического уровня (1×10^4 КОЕ в 1 мл раневого отделяемого).

Заключение: ФДТ с комплексом микрокапсулированный фотодитазин – амфифильный полимер экспериментальных огнестрельных ран мягких тканей оказывает выраженное антимикробное действие, способствует быстрому снижению микробной обсемененности раневой поверхности на пятые сутки лечения до 1×10^5 КОЕ в 1 мл раневого отделяемого, то есть, ниже критического уровня.

1. Tolstykh P.I., Stranadko E.F., Koraboev U.M. Urinov A.I., Tolstykh M.P., Terekhova R.P., Volkova N.N., Duvanskiĭ V.A. Experimental study of photodynamic effect on bacterial wound microflora // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2001. № 2. С. 85–87.
2. Дуванский В.А., Толстых М.П., Петрин С.А. и др. Фотодинамическая терапия и экзогенный оксид азота в комплексном лечении гнойных ран мягких тканей // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2004. № 10. С. 59–62.

3. Дуванский В.А. Фотодинамическая терапия и NO - терапия в комплексном лечении больных с трофическими язвами венозного генеза. Лазерная медицина. 2004; 8 (1–2): 5–8.

ПРИМЕНЕНИЕ СОЧЕТАННЫХ ЛАЗЕРНЫХ МЕТОДИК В ГИНЕКОЛОГИИ

Е.А. Жулябина, М.Р. Ахалая, Л.Г. Дваладзе,
М.В. Добрун

Северо-Западный окружной научно-клинический центр им. Л.Г. Соколова ФМБА
России, Санкт-Петербург

Проблема лечения стрессового недержания мочи и синдрома релаксированного влагиалища остается актуальной по сей день. Наряду с этим, в разных возрастных группах женщин также высоко востребовано решение проблем эстетического характера интимной зоны.

Цель: Оценить результаты сочетанного применения Er:YAG лазера 2940 нм, диодного лазера 980 нм в комбинации с курсом аутоплазмы в амбулаторных условиях.

Материал и методы: С 2023 по 2024 гг. в Центре амбулаторной лазерной медицины СЗОНКЦ им. Л.Г. Соколова пролечено 48 пациенток со стрессовым недержанием мочи и сопутствующим диагнозом папилломы вульвы в сочетании с генитоуринарным менопаузальным синдромом (ГУМС) в возрасте от 36 до 53 лет. Из них: 1-я группа – пациентки со стрессовым недержанием мочи – 19 (40 %), 2-я группа – со стрессовым недержанием мочи в сочетании с синдромом релаксации стенок влагиалища – 16 (33 %), 3-я группа с ГУМС (вагинальная атрофия) в сочетании с папилломами вульвы – 13 (27 %). В первой группе трехкратно применялся Er:YAG лазер 2940 нм (Fotona) с интервалом между сеансами в 3–4 недели согласно протоколу. Во второй группе также применялась процедура нехирургической коррекции стенок влагиалища Er:YAG лазером с интервалом в 3 недели каждая и трех сеансов плазматерапии с интервалом 7 дней после использования лазера. В третьей группе было использовано сочетание Er:YAG лазера с интервалом в 3 недели, трех сеансов плазматерапии с интервалом в 7 дней и однократного применения диодного лазера 980 нм “АЛОД-01” с целью вапоризации папиллом.

Результаты: Положительный эффект от лечения отмечен у 43 (89 %) пациенток. В первой группе положительный результат достиг-

нут у 16 (84,2 %) женщин, во второй группе – у 15 (94 %). Максимально положительный результат лечения отмечен у пациенток 3 группы – 12 (98 %) – при сочетании разных аппаратных методик и с усилением тканевого эффекта посредством введения аутоплазмы в стенки влагалища и кожных покровов вульвы. Через 2,5 месяца от начала терапии в третьей группе сравнения был достигнут полный желаемый эффект – структура кожных покровов и слизистой вульвы стала эластичной, достаточно увлажненной, физиологически окрашенной розового цвета, полностью купированы симптомы стрессового недержания мочи, заживление кожных покровов после удаленных папиллом вульвы прошло без рубцов и следов.

Заключение: Сочетанное применение Ег: YAG лазера 2940 нм, диодного лазера 980 нм в комбинации с курсом аутоплазмы позволяет быстро достичь эффекта при коррекции стрессового недержания мочи, синдроме релаксированного влагалища, а также атрофических изменениях вульво-вагинальной области благодаря усилению эффекта лазерного омоложения и курса плазмалифтинга. Курс введения аутоплазмы способствует запуску регенераторных процессов, а сочетание инъекционной методики и лазерного омоложения дает мощный омолаживающий эффект пролонгированного действия с достижением максимально желаемого эстетического результата.

ПРЕИМУЩЕСТВА ДИОДНОГО ЛАЗЕРА ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПАЦИЕНТОВ

*А.Н. Журавлев, Л.Б. Филимонова, Е.С. Демин
РязГМУ Минздрава России, Рязань*

Цель: Повышение эффективности хирургического лечения пациентов со стоматологическими заболеваниями с помощью диодного лазера.

Материал и методы: На клиническом приеме в стоматологической поликлинике РязГМУ для хирургического лечения пациентов используются современные лазерные технологии. Нами было проведено хирургическое лечение 72 пациентов в возрасте от 18 до 84 лет со стоматологическими заболеваниями полости рта (доброкачественные образования (папилломы, фибромы, ретенционные кисты), перикоронит, гипертрофия слизистой оболочки

рта, укороченные уздечки верхней губы и языка). Все пациенты были распределены на 2 группы исследования: в первой группе пациентам хирургическое лечение проводили с помощью скальпеля №15С, во второй группе с помощью излучения диодного лазера PICASSO Lite с длиной волны 810 нм. Эффективность лечения оценивали по данным клинического и биохимического методов исследования.

Результаты: По данным клинических методов исследования при проведении операций с использованием излучения диодного лазера непосредственно во время операций кровотечения не наблюдали, что позволяло максимально точно иссекать патологически измененные ткани и максимально сохранять интактные окружающие ткани, при работе скальпелем №15С при оперировании раневая поверхность кровоточила, что затрудняло обзор операционного поля и увеличивало время операции. При работе лазерным излучением вся раневая поверхность была покрыта коагуляционной пленкой, поэтому при ранах размером в диаметре до 1 см отпадала необходимость в наложении швов. В послеоперационном периоде при хирургическом лечении пациентов с помощью скальпеля в течение первых 3 суток после оперативного вмешательства операции наблюдали выраженную боль, поэтому все пациенты этой группы принимали обезболивающие препараты, послеоперационный отек сохранялся до $4 \pm 0,5$ суток. При использовании диодного лазера выраженной боли и отека не наблюдали, пациенты обезболивающие препараты не принимали. Эпителизацию при использовании лазера наблюдали на $7 \pm 0,5$ сутки, а в более поздние сроки отмечали формирование тонких эстетических рубцов. При использовании скальпеля эпителизация отмечена на $8 \pm 0,5$ сутки, в позднем послеоперационном периоде наблюдали образование более плотные и менее эстетичные рубцы. Данные лабораторных биохимических исследований показали, что оперативное вмешательство с использованием лазерного излучения оказывает меньший операционный стресс по сравнению с использованием скальпеля. В области операций как в раннем, так и позднем послеоперационном периоде в обеих группах местных осложнений не было.

Заключение: При использовании лазерного излучения при хирургическом лечении стоматологических пациентов операции проходят бескровно, осуществляется визуальный контроль, в послеоперационном периоде уменьшается боль и отек, сокращаются сроки

эпителизации ран, лазерное излучение оказывает минимальное влияние на уровень стрессовой реакции организма. Таким образом, применение излучения диодного лазера PICASSO Lite с длиной волны 810 нм у пациентов со стоматологическими заболеваниями позволяет повысить эффективность лечения и сократить сроки реабилитации пациентов.

ЭНДОВАЗАЛЬНАЯ ФОТОТЕРАПИЯ КРОВИ В ЛЕЧЕНИИ ХОЛЕДОХОЛИТИАЗА

Д.Н. Исаев¹, С.М. Игнатьев², Р.Ф. Ахметзянов²,
Д.А. Якимов¹

¹ Ульяновский государственный университет,
Ульяновск

² ГУЗ ЦГКБ, Ульяновск

Цель: Основные методы лечения механической желтухи включают медикаментозную терапию, эндоскопические и хирургические вмешательства. Камни желчных протоков являются причиной механической желтухи в 35–42 % случаев, миграция конкрементов в общий желчный проток достигает 50 %. Лечение холедохолитиаза зависит от количества камней, наличия и развития осложнений.

Патогенез механической желтухи при холедохолитиазе заключается в миграции конкрементов, последующей закупорке протоков, застое желчи, повышении давления в желчных путях, что в свою очередь может привести к развитию воспаления желчного пузыря и поджелудочной железы, нарушению микроциркуляции крови и лимфы.

При применении лазерного излучения происходят изменения вязкости крови, агрегационной активности клеток, корректируется сосудистая составляющая микроциркуляции, улучшается работа окислительно-восстановительных систем, стабилизируются процессы перекисного окисления липидов, восстанавливается структура клеточных мембран, активизируется синтез белков. В работе проведена оценка результатов применения эндовазального лазерного облучения крови у пациентов с холедохолитиазом.

Материал и методы: В клинике за 2021–2024 гг. под наблюдением находилось 37 пациентов желчнокаменной болезнью, осложненной холедохолитиазом.

Критерии включения в исследование: пациенты от 18 до 70 лет, с диагнозом желчнока-

менной болезни, осложненной холедохолитиазом, механической желтухой легкой и средней тяжести по шкале Федорова. Диагноз верифицировался клинически, лабораторно и инструментально по единой схеме обследования.

Всем пациентам проводилась на первом этапе комплексная своевременная терапия согласно стандартам лечения. На втором выполнялось оперативное лечение.

Первую группу составили 24 больных, которым дополнительно к рекомендованным стандартам лечения, начиная с 1-го дня пребывания в стационаре проводилось внутрисосудистая фототерапия крови источником лазерной излучающей головки с длиной волны 635 нм. (мощность излучения на выходе не менее 1,5 мВт). Курс лечения состоял из 7–10 процедур продолжительностью 30 минут.

Группу сравнения составили 13 пациентов с холедохолитиазом, прошедшие курс лечения без применения эндовазального лазерного облучения крови.

Результаты: В первой группе после курса консервативного лечения с лазерной фототерапией выполнена холецистэктомия, холедохотомия, удаление камней у 17 пациентов (70,8 %), холецистэктомия, наложение билиодигестивных анастомозов произведено у 8 (30,2 %). Осложнения в виде послеоперационного панкреатита, выражавшиеся в увеличении показателей ферментов, отмечены у 3 пациентов (12,5 %).

Во второй группе 13 больных без предоперационного курса применения эндовазального лазерного облучения крови выполнено 8 холецистэктомий, холедохотомий, удалений камней (61,5 %), холецистэктомия, наложение холедигестивных анастомозов 5 (38,5 %). Панкреатит развился у 4 пациентов (30,7 %).

Заключение: Применение эндовазальной фототерапии крови в комплексном лечении холедохолитиаза в предоперационном периоде позволяет уменьшить объем оперативного вмешательства и сократить продолжительность операции, уменьшить выраженность послеоперационного воспаления поджелудочной железы.

ФОТОДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕРАПИЯ РАКА КОЖИ, РАЗВИВШЕГОСЯ НА РУБЦОВО-ИЗМЕНЕННОЙ КОЖЕ

*В.Н. Капинус, Е.В. Ярославцева-Исаева,
О.Е. Поповкина*

*Медицинский радиологический научный центр
им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ “Национальный
медицинский исследовательский центр
радиологии” Минздрава России, Обнинск*

Введение: В 5–8 % случаев рак кожи развивается из рубцов различного происхождения: термических, химических, механических, лучевых, огнестрельных и возникших вследствие трофических нарушений и некоторых кожных заболеваний. Неопластическая трансформация рубцовой ткани происходит через долгие годы (от 20 до 70 лет) из-за постоянного раздражения и травматизации в процессе длительного лечения или ношения неудобной одежды и обуви, что приводит к хроническому воспалению и повторному повреждению рубцов. При морфологической верификации чаще диагностируется плоскоклеточный рак (более 95 % случаев). Для рака кожи, развившегося на рубцах, характерна высокая частота рецидивов (от 20 % до 50 %), часто возможны метастазы в регионарные лимфатические узлы (в 20–66 % случаев) и в 14 % – отдаленные метастазы (легкие, печень, мозг), а 5-летняя выживаемость составляет около 60 %. Основным методом лечения является хирургический: широкое иссечение, часто применяются и калечащие хирургические вмешательства (ампутации); неоадъювантная и/или адъювантная лучевая терапия, химиотерапия по показаниям.

Цель: Оценка эффективности ФДТ при лечении рака кожи, развившегося на рубцах.

Материал и методы: В МРНЦ им. А.Ф. Цыба ФДТ была проведена 9 больным плоскоклеточным раком кожи и 6 – базальноклеточным раком кожи, у которых в анамнезе имелись повреждения кожи (ожоговые, лучевые) с формированием обширных рубцов.

Для проведения ФДТ предварительно вводилась инъекционная форма фотосенсибилизатора (ФС) фотолон в дозе 1,0–1,2 мг/кг. Лазерное облучение опухоли проводили через 3 часа после введения ФС на лазерном аппарате “Латус-2” (662 нм) с плотностью мощности 0,31–0,48 Вт/см² по полипозиционной методике, плотность световой энергии составила

200–300–600 Дж/см², количество полей облучения – от 3–5 до 10–12.

Результаты: Полная регрессия опухолевых очагов была зарегистрирована у 9 (60,0 %) больных, частичная регрессия – у 5 (33,3 %) и стабилизация – 1 (6,7 %) у пациентов с местнораспространенными формами заболевания, которым повторно проводились сеансы ФДТ с паллиативной целью (уменьшение объема опухолевой ткани, кровоточивости, санация инфицированных новообразований).

При динамическом наблюдении более 5 лет без рецидива наблюдается 8 пациентов, у 7 – отмечены рецидивы заболевания. У 1 пациента без признаков местного рецидива и 1 больного при непрерывно-рецидивирующем процессе через 3 года диагностировано прогрессирование заболевания (метастатическое поражение регионарных лимфатических узлов и легких), по поводу которого проводилось комбинированное лечение (хирургическое, химиотерапевтическое).

Заключение: Необходима онкологическая настороженность при наблюдении пациентов с обширными и/или изъязвленными рубцами на коже. ФДТ может быть использована как дополнительная опция при индивидуальном мультидисциплинарном подходе при выборе метода лечения рака кожи из рубцов.

Рекомендуется регулярное и длительное наблюдение пациентов, которым проводилось лечение злокачественных новообразований рубцово-измененной кожи для своевременной диагностики рецидивов и метастазов.

ФЛУОРЕСЦЕНТНАЯ ДИАГНОСТИКА (ФД) В КОМБИНИРОВАННОМ ЛЕЧЕНИИ СИНОВИАЛЬНОГО ХОНДРОМАТОЗА И ТЕНОСИНОВИАЛЬНОЙ ГИГАНТОКЛЕТОЧНОЙ ОПУХОЛИ

*В.Ю. Карпенко, А.Ф. Колондаев, К.А. Антонов,
Н.А. Любезнов, А.Л. Карасев, Е.С. Глушко,
Т.В. Стрелка*

*НМИЦ ТО им Н.Н. Приорова Минздрава России,
Москва*

Цель: Улучшение результатов лечения пациентов с гистологически верифицированным диагнозом синовиального хондроматоза (СХ) и теносиновиальной гигантоклеточной опухоли (ТГКО).

Материал и методы: На базе НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова с октября 2024 г. по март 2025 г. проведено 27 хирургических вмешательств с применением интраоперационной фотодинамической терапии в комбинированном лечении пациентов с ТГКО и СХ различных локализаций. Из них 12 пациентов с СХ и 15 – с ТГКО. По локализациям проведено 13 хирургических вмешательств на коленном суставе, 4 – на тазобедренном суставе, 4 – на локтевом суставе, 3 – на голеностопном суставе и по одному – на плечевом суставе, области надплечья и стопе. Пациентам за 3 часа до предполагаемого хирургического вмешательства вводился препарат фоторан Е6 в дозе 1 мг/кг. С момента начала введения препарата пациенты находились в условиях соблюдения светового режима. ФД проводилась с использованием стоматоскопа АФС с длиной волны 395 нм, мощностью 390 мВт. ФД проводилась на всех этапах хирургического вмешательства: визуализация патологического очага – определение размеров и истинных границ; после проведения синовэктомии – для определения радикальности хирургического вмешательства для визуализации пораженных оставшихся участков синовиальной оболочки; до и после проведения сеансов фотодинамической терапии – для оценки эффективности проведенного лечения. Оптимальным временным промежутком для проведения ФД – пиком концентрации фотосенсибилизатора в тканях является временной промежуток с 3 до 9 часов от начала введения препарата.

Результаты: Очаги флуоресценции, выявленные при ФД, удалены прицельно при помощи хирургических техник и отправлены на патоморфологическое исследование. По данным гистологического заключения у всех пациентов во флуоресцирующих тканях обнаружены признаки ТГКО/ СХ. Таким образом эффективность фотодинамической диагностики подтверждена гистологическими исследованиями.

Заключение: ФД в комбинированном лечении СХ и ТГКО является определяющей в определении объема хирургического вмешательства. ФД позволяет провести радикальное хирургическое лечение, тем самым снижая риски возникновения рецидива.

ЭНДОСКОПИЧЕСКАЯ ЛАЗЕРНАЯ ХИРУРГИЯ ОГРАНИЧЕННОГО СТЕНОЗА ГОРТАНИ СКЛАДКОВОГО И ПОДСКЛАДКОВОГО ОТДЕЛОВ

Е.А. Кирасирова^{1,2}, Т.М. Сулова², Р.Ф. Мамедов¹,
Н.В. Лафуткина¹, О.К. Пиминиди¹,
С.И. Тютина¹, В.А. Трусов^{1,2}, О.В. Шульга²
¹ Научно-исследовательский клинический институт оториноларингологии им. Л.И. Свержевского ДЗМ, Москва

² Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва

Цель: За последние годы отмечается устойчивая тенденция к росту числа случаев заболевания двусторонним параличом гортани и подскладковым стенозом гортани. Важно подчеркнуть, что применение традиционных хирургических методик в лечении пациентов, страдающих от данных патологий, показывает недостаточную эффективность хирургического лечения и долговременную зависимость от трахеостомы. В связи с этим продолжают активные исследовательские работы, нацеленные на разработку инновационных подходов к хирургическому лечению.

Материал и методы: В отделе реконструктивной хирургии полых органов шеи НИКИО им. Л.И. Свержевского за период с 2024 по 2025 гг. проводилось эндоларингеальное хирургическое лечение 20 пациентов с установленным диагнозом двустороннего паралича гортани ($n=10$) и подскладкового стеноза гортани ($n=10$), причиной которых являлись, соответственно, тиреоидэктомия и системные заболевания. Все пациенты были обследованы с использованием эндоскопии и компьютерной томографии гортани перед операцией. Эндоскопическая лазерная хирургия проводилась с применением диодного лазера TruARC Laser WOLF – TruBlue синего спектра с длиной волны 445 нм, мощностью 4 Вт в непрерывном бесконтактном режиме. Пациентам первой группы применялась эндоларингеальная односторонняя резекция задней трети голосовой складки с латерофиксацией. Во второй группе проводилось иссечение рубцовой деформации подскладкового отдела с баллонной дилатацией. После оперативного вмешательства всем пациентам было назначено комплексное лечение, включающее системное применение глюкокортикоидов, антибактериальную и ингаляционную терапию.

Результаты: Применение эндоскопической лазерной хирургии у пациентов сопровождалось интраоперационным снижением травматизации тканей, улучшенным гемостазом и снижением продолжительности операции, тогда как в послеоперационный период наблюдались уменьшение локальной воспалительной реакции тканей гортани и ускоренное восстановление дыхательной функции. Длительность стационарного лечения составила 3–5 суток. Осложнений, связанных с оперативным вмешательством, зарегистрировано не было.

Заключение: Таким образом, эндоскопическая лазерная хирургия является эффективным методом лечения двустороннего паралича гортани или подскладкового стеноза гортани, позволяющим восстановить дыхательную функцию, уменьшить время госпитализации и реабилитации пациентов.

ЭНДОВЕНОЗНАЯ ЛАЗЕРНАЯ КОАГУЛЯЦИЯ – ЗОЛОТОЙ СТАНДАРТ В ЛЕЧЕНИИ ВАРИКОЗНОЙ БОЛЕЗНИ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

*О.И. Ковчур, П.И. Ковчур, А.И. Фетюков
Петрозаводский государственный
университет, Петрозаводск*

Цель: Эндовенозные лазерные методы лечения варикозной болезни нижних конечностей в настоящее время обладают довольно большой доказательной базой и являются методом выбора для устранения рефлюкса по магистральным подкожным венам у пациентов с варикозной болезнью. Выбор оптимального объема комплексного лечения и улучшения результатов хирургического лечения больных с варикозной болезнью нижних конечностей является актуальной проблемой.

Материал и методы: Нами проанализированы результаты хирургического лечения 567 больных с варикозной болезнью нижних конечностей, находившихся на лечении в поликлинике ГБУЗ “Республиканская больница имени В.А. Баранова” за период с 2021 по 2024 гг., в возрасте от 27 до 72 лет. Из них женщин было 389 (68,6 %), мужчин – 178 (31,4 %). Большинство пациентов было с классом варикозной болезни нижних конечностей С2-3 – 423 (74,6 %), 144 (25,4 %) пациента – с классом С4-С5.

Для оценки клапанного аппарата поверхностных, коммуникантных и глубоких вен ниж-

них конечностей всем больным выполнялась триплексное ангиосканирование вен нижних конечностей. У всех 567 пациентов был выявлен вертикальный рефлюкс по большой подкожной вене, у 194 – по малой подкожной вене, у 203 пациентов имел место рефлюкс по большой и малой подкожным венам.

Результаты: Все пациенты (567) были оперированы с проведением эндовенозной лазерной коагуляции (ЭВЛК) большой и малой подкожных вен с минифлебэктомией варикозно-расширенных подкожных вен голени и бедра. Для этого использовался диодный лазер “Лахта-Милон” 1470 нм. Вмешательство проводилось под ультразвуковым контролем, под местной анестезией в амбулаторных условиях с использованием радиального световода.

Отдалённые результаты изучены у 529 больных в сроки от 1 года до 3 лет. “Хорошие” результаты установлены у 98 % больных. Рецидива заболевания выявлено не было.

Заключение: На сегодняшний день ЭВЛК можно применить у большинства пациентов с варикозной болезнью нижних конечностей. Выполнение ЭВЛК не требует госпитализации, выполняется в амбулаторных условиях, характеризуется коротким послеоперационным периодом и быстрым восстановительным периодом. Эндовенозная лазерная облитерация с использованием лазера 1470 нм является безопасным, малотравматичным и эффективным методом лечения варикозной болезни нижних конечностей.

ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ И КОМПЛЕКСНОГО ЛЕЧЕНИЯ ВИРУС- АССОЦИИРОВАННЫХ ЦЕРВИКАЛЬНЫХ, ВАГИНАЛЬНЫХ И ВУЛЬВАРНЫХ ИНТРАЭПИТЕЛИАЛЬНЫХ НЕОПЛАЗИЙ НА АМБУЛАТОРНОМ ЭТАПЕ

*П.И. Ковчур, И.В. Хидишян, О.И. Ковчур,
А.И. Фетюков
Петрозаводский государственный
университет, Петрозаводск*

Цель: Системной задачей для гинекологов и онкологов является снижение смертности от рака шейки матки, вульвы и влагалища за счет организации скрининговых мероприятий в рамках приказа Минздрава РФ № 2041 от 16.12.2021 г. по выявлению и лечению предраковых заболеваний шейки матки, вульвы и влагалища.

Материал и методы: Изучены результаты диагностики и комплексного лечения интраэпителиальных неоплазий шейки матки, вульвы и влагалища в 3 группах. 1-я группа ($n=196$) – пациентки с осложненным эктропионом, кондиломатозом и лейкоплакиями шейки матки. У 92 (46,9 %) пациенток до начала лечения в соскобах эпителия и биоптатах шейки матки выявлены генотипы ВПЧ: тип 16 – 57 (62,0 %), тип 18 – 8 (8,7 %), тип 33 – 8 (8,7 %), тип 31 – 12 (13,0 %), тип 31+33 – 1 (1,1 %), тип 6, 11, 74 – 6 (6,5 %). У 86 (93,5 %) пациентов найдены высокоонкогенные штаммы (16, 18, 31, 33). 2 группа ($n=47$) – пациентки с ЦИН 1-2, 2 степени и 100 % до начала лечения в соскобах эпителия и биоптатах шейки матки выявлены генотипы ВПЧ. Тип 16 – 32 (68,1 %); тип 18 – 4 (8,5 %); тип 33 – 6 (12,8 %), тип 33, 31, 74 – 1 (3,2 %), тип 31, 33 – 4 (8,5 %). 3 группа ($n=37$) – пациентки с вульварными интраэпителиальными неоплазиями 1–2 степени ($n=21$) и вагинальными интраэпителиальными неоплазиями 1–2 степени ($n=16$) (ВПЧ – в 100 %). Тип 16, 6, 11, 74 – 16 (43,2 %), тип 18 – 2 (5,4 %), тип 33, 31 – 6 (16,2 %), тип 31, 6, 11, 74 – 13 (35,1 %). Всем выполнялось лечение шейки, влагалища и вульвы хирургическим аппаратом “Ланцет-2” и “Аллод-01” по стандартной методике. У всех пациентов с ВПЧ 2 этапом после лазерного лечения проводилась терапия Гистидил–глицил–валил–серил–глицил–гистидил–глицил–глутаминил–гистидил–глицил–валил–гистидил–глицин по 1 мг 6 раз через день, подкожно. Оценка результатов – ПЦР-контроль ВПЧ, цитологическое и кольпоскопическое исследования через 3 месяца от начала лечения.

Результаты: В 1-й группе ($n=196$) у женщин с эктропионом, кондиломатозом и лейкоплакиями шейки матки и ВПЧ ($n=92$) через 3 месяца после комплексного лечения (лазерная деструкция + иммунотерапия) эффективность лечения составила 93,5 % (86) случаев. У 6 пациентов – рецидив с вирусной нагрузкой $<2lg 10^5$. У оставшихся пациенток без ВПЧ ($n=104$) эффективность только лазерного лечения составила 84,6 %. У 16 – рецидив, что потребовало повторного лечения. Во 2-й группе ($n=47$) у пациенток с ЦИН 1-2, 2-й степени и ВПЧ после комплексного лечения эффективность составила 95,7 % ($n=45$). В 3-й группе ($n=37$) эффективность лечения составила 91,9 %. 3 случая рецидива заболевания, что потребовало повторного лечения.

Заключение: Специфичность лазерной хирургии – это возможность удаления формируемого опухолевого очага на шейке матки и одновременно лазерного удаления образований влагалища, вульвы и шейки матки при обширном их поражении при лечении отечественными хирургическими аппаратами “Ланцет-2” и “Аллод-01”.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛАЗЕРНОЙ И РАДИОЧАСТОТНОЙ ХИРУРГИИ У БОЛЬНЫХ С ЦЕРВИКАЛЬНЫМИ ИНТРАЭПИТЕЛИАЛЬНЫМИ НЕОПЛАЗИЯМИ ШЕЙКИ МАТКИ С ПОМОЩЬЮ МОЛЕКУЛЯРНЫХ БИОМАРКЕРОВ

П.И. Ковчур, И.В. Хидишян, О.И. Ковчур, А.И. Фетюков

Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск

Развитие рака шейки матки зависит от иммунного статуса больной, типа папилломавирусной инфекции, сопутствующей патологии и наличия дополнительного бактериального инфицирования.

Цель: Оценка эффективности лазерной и радиочастотной хирургии у больных с помощью возможных молекулярных биомаркеров при лечении цервикальных интраэпителиальных неоплазий (ЦИН) шейки матки, связанных с вирусом папилломы человека.

Материал и методы: Изучены уровни экспрессии генов VEGF-C, VEGF-R3, PlGF, ETS1 в образцах морфологически нормального эпителия с ВПЧ, ЦИН 1-2, ЦИН 2, ЦИН 3 методом ПЦР в режиме реального времени и RNAseq анализа на платформе Illumina (MiSeq). Оценен уровень экспрессии CD95, содержание T-reg клеток в образцах периферической крови у 115 пациенток с ДНК ВПЧ (100 %). Контроль – 30 здоровых женщин. У больных с ВПЧ были выявлены следующие генотипы ВПЧ. Тип 16 – 67 (58,3 %); тип 18 – 9 (7,83 %); тип 33 – 14 (12,2 %); тип 33, 31, 74 – 4 (3,5 %); тип 31, 33 – 8 (6,9 %); тип 11, 6, 74 – 13 (11,3 %). Всем выполнялось лечение шейки матки хирургическим аппаратом “Ланцет-2” и “Аллод-01” по стандартной методике и/или радиочастотным генератором “Фотек ЕА 141”. Оценка эффективности лечения шейки матки проводилась с помощью ПЦР-контроля, цитологического, кольпоскопического исследований через 3 месяца от начала лечения.

Результаты: Отмечено увеличение экспрессии спектра генов VEGF-C, VEGF-R3, PlGF, ростовых факторов (VEGF-C, PlGF), уровней их рецепторов (VEGF-R3), внутриклеточных транскрипционных факторов (ETS1) в клетках преинвазивного РШМ. Достоверно выявлено увеличение количества CD4⁺CD25⁺ Т-клеток, CD4⁺CD25⁺/high, CD4⁽⁺⁾CD25⁽⁺⁾FoxP3⁽⁺⁾ ($p < 0,05$) и продукции TGF- β 1 Treg-клетками ($p < 0,05$). Выявлено повышение экспрессии CD3⁺ CD95⁺/high Т-клеток эффекторов и CD3⁺CD4⁺95⁺/high Т-хелперов ($p < 0,05$). Обнаружено увеличение активности CD95-регулируемой каспазы-8 и эффекторной каспазы-3 в лимфоцитарной фракции больных ЦИН1-2, ЦИН2, ЦИН3. После хирургического (радиочастотная и/или лазерная хирургия) лечения отмечено восстановление показателей клеточного иммунитета в течение 3 месяцев. Отмечена эффективная нормализация Т-хелперов, Tregs, уровня экспрессии CD95-маркера, TGF- β 1, FOXP3, уровня активности каспаз -8, -9, -3 и -6 в циркулирующих лимфоцитах ($p < 0,01$). Через 3 месяца после лечения (радиоволновая и/или лазерная деструкция) эффективность лечения составила 90,4 % (104 случаев). У 11 (9,6 %) пациентов – рецидив с вирусной нагрузкой $< 2 \lg 10^5$.

Заключение: Результаты лечения интраэпителиальных неоплазий шейки матки показывают необходимость применения лазерных и радиоволновых технологий при выполнении операций на шейке матки. Данное утверждение, с одной стороны, улучшает качество лечения интраэпителиальных неоплазий шейки матки, а с другой стороны, у женщин репродуктивного возраста сохраняет ее репродуктивную функцию.

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРОТЕРАПИИ НА ТЕЧЕНИЕ И ГЕМОРЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИ ОСТРОЙ ПНЕВМОНИИ

Е.Н. Кондрахина
ООО Доктор 2000, Москва

Цель: Общеизвестны проблемы терапии острой пневмонии – возрастание количества резистентных штаммов возбудителей, развитием поливалентной аллергии, ухудшением иммунного статуса популяции. В патогенезе острой пневмонии также значительное место занимают изменения реологии крови, что, приводя к нарушению микроциркуляции, ухудшает течение и прогноз заболевания. Гиперкоагу-

ляция крови с микротромбообразованием играла существенную роль в патогенезе Covid 19. Целью данной работы явилось изучение влияния излучения гелий-неонового лазера (НИЛТ) на клиническое течение и гемореологические показатели у больных острой пневмонией.

Материал и методы: Группа пациентов с очаговой, долевой и двусторонней пневмонией в исследовании составила 103 человека в возрасте от 19 до 79 лет. Больные разделены на 3 группы в зависимости от применяемого лечения: 1 группа получала кожное облучение, 2 группа – сочетанное внутривенное и кожное облучение, контрольная группа больных получала только традиционную терапию. В работе использовался гелий-неоновый лазер АФЛ-01 с длиной волны 0,63 мкм с мощностью на конце световода от 2 до 5 мВт, экспозиция составляла 15–30 мин в зависимости от тяжести течения пневмонии. Для кожного облучения применялась установка ЛГ-75 с плотностью мощности на конце световода 0,5 мВт/см² время экспозиции 20 мин. Исследовались гемореологические параметры: агрегация тромбоцитов, агрегация эритроцитов, уровень антитромбина III, уровень растворимых комплексов фибрин-мономеров, уровень продуктов деградации фибриногена/фибрина, время лизиса плазменных сгустков, время лизиса эритроцитарных сгустков.

Результаты: Клинический эффект НИЛТ наблюдался при обоих способах облучения: снижалась температура, исчезали плевральные боли, уменьшались кашель, слабость и потливость; облегчалось дыхание, улучшалось самочувствие. Достоверно снижались сроки выздоровления в обеих группах больных, получавших НИЛТ, по сравнению с группой контроля. Осложнений и побочных реакций при проведении лазерной терапии не отмечено. Исследование гемореологических показателей у больных с легким и среднетяжелым течением пневмонии выявило гиперкоагуляцию по исследуемым параметрам. При тяжелом течении при этом в отношении тромбоцитов отмечалась гипоагрегация. На этапе клинико-рентгенологического выздоровления гемореологические показатели возвращались к нормальным значениям у пациентов, получавших НИЛТ, чего не происходило у пациентов контрольной группы. По результатам работы можно говорить об особенностях терапии лазерным излучением длиной 0,63 мкм – корректирующее воздействие: нормализация показателей как при их исходном снижении, так и при исходном повышении. На нормальные значения гемореоло-

гических параметров НИЛТ влияния не оказывала. Влияние НИЛТ в использованных в работе параметрах на гемореологические показатели продемонстрировало, что лазерное излучение можно использовать для лечения ДВС любой этиологии как в фазу гиперкоагуляции, так и фазу гипокоагуляции, что особенно важно, так как смена фаз ДВС с качественной точки зрения происходит постепенно: по мнению ряда авторов, в гипокоагуляционной стадии активация ферментного фибринолиза является лишь относительной.

Выводы: Применение НИЛТ позволило повысить эффективность терапии острой пневмонии, в том числе тяжелого течения, ускорить сроки ее разрешения, добиться значительно полной коррекции гемореологических нарушений без использования НПВС, дезагрегантов, антикоагулянтов и ГКС.

СОСТОЯНИЕ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КОЖИ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У МУЖЧИН С РАЗЛИЧНЫМИ ФЕНОТИПАМИ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ НИЗКОГО И УМЕРЕННОГО СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОГО РИСКА

А.И. Королев¹, В.С. Ососков¹, А.А. Федорович^{1,2},
М.Г. Чашин¹, В.А. Дадаева¹, О.М. Драпкина¹

¹ Национальный медицинский
исследовательский центр терапии и
профилактической медицины
Минздрава России, Москва

² Институт медико-биологических проблем
РАН, Москва

Цель: Изучить структурно-функциональное состояние микрососудов кожи у мужчин трудоспособного возраста с различными фенотипами артериальной гипертензии (АГ) низкого/умеренного сердечно-сосудистого риска.

Материал и методы: 218 “условно” здоровым мужчинам выполнено обследование “от капилляров до сердца”: клинический и биохимический анализ крови, объемная сфигмография, видеокапилляроскопия, лазерная доплеровская флоуметрия в покое и с констрикторной и дилататорной пробами, фотоплетизмография, поток-зависимая вазодилатация плечевой артерии, ультразвуковое исследование сердца и магистральных артерий, суточное мониторирование артериального давления (АД). По результатам суточного мониторирования

АД сформировано три группы: группа нормального АД (НАД) – 72 мужчины, группа изолированной диастолической АГ (ИДГ) – 70, группа систолодиастолической АГ (СДГ) – 76.

Результаты: По данным видеокапилляроскопии и лазерной доплеровской флоуметрии достоверных межгрупповых различий на уровне капилляров и прекапиллярных артериол не получено. По данным фотоплетизмографии мужчины с СДГ относительно группы НАД имели больший $\Delta p75$ (индекс аугментации, нормированный на частоту сердечных сокращений 75 уд./мин) ($7,35$ vs $-5,4$ %; $p < 0,001$), VA (сосудистый возраст) (49 vs 43 года; $p < 0,001$) и RI (индекс отражения) (38 vs $29,1$ %; $p < 0,001$), а пациенты с ИДГ – больший RI ($35,3$ vs $29,1$ %; $p < 0,001$) соответственно.

Заключение: У мужчин с ИДГ и СДГ разрежения капиллярного русла, изменения тонуса, констрикторной и дилататорной активности прекапиллярных артериол в коже нет. Мужчины с ИДГ и СДГ характеризуются большим тонусом гладкомышечных клеток терминальных мышечных артерий и распределительных артериол, а мужчины с СДГ также имеют большую артериальную жесткость.

ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЭКСПРЕССИЮ БЕЛКА p53 В ЦИТОПЛАЗМЕ НЕЙРОНОВ ГИППОКАМПА У КРЫС ПОСЛЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕПТОПЛАСТИКИ

В.Н. Котов, И.В. Кастыро, С.Г. Драгунова,
С.С. Шилин

Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва

Цель: Оценить влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на экспрессию белка p53 в цитоплазме нейронов пирамидного слоя гиппокампа у крыс после моделирования септопластики.

Материал и методы: Работа была проведена на 53 крысах-самцах линии Wistar массой 250 ± 50 г. Контрольную группу (1 группа) составили 5 крыс. В экспериментальные группы было включено по 24 животных. Моделирование септопластики животным из 2-ой и 3-ей экспериментальных групп проводили стандартным методом, после чего животных из 2-й группы забивали на 2, 4 и 6 день путем введения летальных доз золетила 100, забирался головной мозг и по

стандартной методике окрашивался кроличьи-ми моноклональными антителами к белку р53. Животных из 3-й группы разделили на 3 подгруппы (по 8 животных в каждой) и после септопластики начинали проводить курс фотобиомодулирующей терапии (ФБМТ) длительностью до 6 дней (для каждой из трех подгрупп 2, 4 и 6 дней соответственно), далее исследование проводилось по аналогии со 2-й группой. Специально подобранные головки излучателя малого размера устанавливались в проекции носа крысы на расстоянии 1 см от кожных покровов по направлению к головному мозгу. Первая процедура лазерной терапии проводилась через 3 часа после моделирования септопластики и далее с интервалом в 24 часа. Длительность каждого облучения составляла 90 с. Суммарно было проведено от 3 до 7 процедур ФБМТ (в зависимости от подгруппы). Применялся метод ФБМТ с помощью ближнего инфракрасного света (БИК), длина волны составила 670 нм, плотность энергии составила 4 Дж/см², а мощность – 1,7 мВт/см². Для проведения ФБМТ использовали прибор “ЛАЗМИК-01” производства России.

Результаты: Согласно критерию Манна–Уитни в субполях СА1, СА2 и СА3 гиппокампа количество нейронов с повышенной экспрессией р53 в цитоплазме было достоверно выше на 2, 4 и 6-е сутки ($p < 0,001$) во 2-й группе (после моделирования септопластики) по сравнению с контрольной группой. В динамике пик роста экспрессии белка р53 в цитоплазме пирамидного слоя СА1, СА2 и СА3 субполей гиппокампа пришелся на период со 2 по 4-ые сутки после операции, а на 6-е сутки количество этих нейронов в субполях СА1 и СА2 значимо снизилось по сравнению со 2 и 4-ми сутками ($p < 0,001$) в отличие от субполя СА3, где отмечалась небольшое снижение по сравнению с предыдущими сутками ($p < 0,01$).

В цитоплазме был отмечен рост р53 по сравнению с контрольной группой на 2 и 4-е сутки во всех субполях ($p < 0,001$), однако он был несколько меньше на 2-е сутки ($p < 0,05$) и значимо различался на 4-е сутки ($p < 0,001$) по сравнению со 2-й экспериментальной группой. К 6-ым суткам применения ФБМТ количество данных нейронов было сопоставимо с контрольной группой.

Заключение: В настоящем исследовании экспериментальная группа, в которой в послеоперационном периоде проводилась ФБМТ, продемонстрировала более низкие показатели экспрессии белка р53 в нейронах гиппокампа, по сравнению с группой, где ФБМТ не проводи-

лась. Таким образом, ФБМТ положительно влияет на купирование стрессовых реакций, в частности, на уменьшение экспрессии белка р53 в нейронах пирамидного слоя гиппокампа в раннем послеоперационном периоде в рамках модели септопластики у биологических объектов.

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА ИНТРАОПЕРАЦИОННОЙ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ТКАНЕЙ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА ВО ВРЕМЯ ГАСТРЭКТОМИИ

А.А. Кривецкая^{1,2}, Д.М. Кустов¹, В.В. Левкин³,
С.С. Харнас³, Т.А. Савельева^{1,2}

¹ Институт общей физики им. А.М. Прохорова
РАН, Москва

² Инженерно-физический институт
биомедицины, Национальный
исследовательский ядерный университет
“МИФИ”, Москва

³ Университетская Клиническая больница №1
Первого МГМУ им. М.И. Сеченова, Москва

Цель: Данная работа посвящена интраоперационной апробации методики оценки жизнеспособности исследуемой области органа желудочно-кишечного тракта по уровню ее кровоснабжения на основе измерений локального уровня сатурации биологических тканей кислородом при помощи анализа спектров диффузного отражения в режиме реального времени в ходе гастрэктомии.

Материал и методы: Регистрация спектров диффузного отражения осуществлялась при помощи установки “ЛЭСА-01-БИОСПЕК” и широкополосного источника излучения в видимом диапазоне длин волн. Исследование проводилось при частичной резекции желудка (4 пациента), тотальной гастрэктомии с анастомозом между пищеводом и двенадцатиперстной кишкой (5 пациентов), резекции желудка с формированием Ру-петли (11 пациентов).

Результаты: Оценка состояния тканей была осуществлена на нескольких интраоперационных этапах: до проведения хирургических процедур на желудке, после мобилизации сосудов и после наложения анастомозов. На втором этапе измерений уровень сатурации значительно уменьшается, в то время как после наложения анастомозов в случаях адекватного кро-

воснабжения наблюдается восстановление оцениваемой величины до первоначальных значений. Также в 6 случаях была проведена оценка динамики кровотока после мобилизации сосудов желудка в течение получаса. В течение всего времени наблюдения уровень сатурации снижался, однако не опускался ниже 50, что свидетельствует о возможности восстановления функций тканей.

Заключение: Исходя из результатов представляемой работы, разработанная методика мониторинга уровня кровоснабжения тканей по степени их сатурации кислородом может применяться для интраоперационной оценки жизнеспособности тканей во время гастрэктомии. Получаемые в ходе исследования количественные данные обуславливают объективность данного метода.

Работа выполнена в рамках государственного задания НИЯУ МИФИ (FSWU-2023-0070).

ОБОСНОВАНИЕ ЕДИНОВРЕМЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХ ВИДОВ ИЗЛУЧЕНИЯ (РАДИОВОЛНОВОЕ, ЛАЗЕРНОЕ) ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ РИНОФИМЫ

А.И. Крюков^{1,2}, А.Б. Туровский^{1,3},
И.Г. Колбанова¹, Н.В. Шведов¹, В.В. Мосин¹
¹ Научно-исследовательский клинический институт оториноларингологии им. Л.И. Свержевского ДЗМ, Москва

² Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова МЗ РФ Москва

³ ГБУЗ им. В.В. Вересаева ДЗМ, Москва

Актуальность: Иссечение патологически измененной на современном этапе является основным методом лечения ринофимы. Существует множество методов физического разрушения опухолевой ткани: с использованием “холодных” инструментов – скальпель, бритва, и “не холодных” – радиоволновая хирургия, электрохирургия, лазерная хирургия, гидрохирургическая система Versajet, дермабразия, холодная плазма. Среди существующих хирургических способов иссечения ринофимоматозной ткани наиболее эффективными являются высокоэнергетические (радиоволновое, лазерное). Нами разработан способ диссекции ринофимоматозной ткани, при котором одновременно применяются оба вида излучения: радиоволновое излучение поз-

воляет быстро сформировать контур наружного носа в условиях бескровного операционного поля, а лазерное излучение в режиме лазерной шлифовки обеспечивает стерилизацию раны, выравнивание как поверхности раны, так и демаркационной зоны. Физические особенности данных видов излучения связаны с воздействием на ткань высоких температур.

Цель: Изучить показатели термографии в области наружного носа в процессе хирургического лечения ринофимы (радиоволнового, лазерного).

Материал и методы: Мы использовали тепловизионную камеру диапазона 3–5 мкм и 8–12 мкм для изучения теплового эффекта в рамках одной операции двух видов излучения – радиоволн высокой частоты (3,8–4,0 Пц, мощность 35–36 Вт) и лазерного CO₂-излучения при следующих параметрах (суперимпульсный режим, мощность 2,5–3 Вт с использованием сканирующего устройства) на биологическую ткань. При этом мы изучали распределение температуры в области наружного носа до начала теплового воздействия и изменения температуры носа в процессе выполнения хирургического вмешательства. В исследование вошли 8 пациентов с ринофимой в возрасте от 52 до 74 лет. Мы проводили интраоперационное дистанционное измерение температуры биологического объекта в зоне радиоволнового и лазерного воздействий по тепловому (инфракрасному) излучению в заданных зонах (Н1 – зона окружающей среды; Н2 – зона раны; Н3 – зона окружающей ткани) перед началом операции, во время работы радиоволнового аппарата Сургитрон, и во время работы углекислого лазерного аппарата.

Результаты: До начала операции в точке Н1 средняя температура составила 22,4°C, в точке Н2 – 32,9°C, в точке Н3 – 33,4°C. Во время проведения диссекции с помощью радиоволнового разреза средняя температура в точке Н1 составила – 24,2°C, Н2 – 54,4°C, в точке Н3 – 32,3°C. Во время выполнения лазерной шлифовки температура в точке Н1 в среднем составила 29,8°C, в точке Н2 – 242°C, в точке Н3 – 33,0°C.

Заключение: При термографии перед началом операции в проекции зон Н1, Н2, Н3 выявлены показатели температуры, которые соответствуют нормальным показателям. Во время проведения диссекции радиоволновым инструментом температура в области воздействия (зона раны) статистически достоверно увели-

чивалась ($p \leq 0,05$), с разницей в $30,2^\circ\text{C}$. Во время лазерной обработки раны повышение температуры зафиксировано в зоне раны и в зоне, которая соответствовала окружающей среде ($p \leq 0,05$).

ФЛУОРЕСЦЕНТНАЯ ДИАГНОСТИКА С ИНДОЦИАНИНОМ ЗЕЛЕНЫМ – ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ РОССИЙСКОГО ПРИБОРА “МАРС” В ОТКРЫТОЙ ХИРУРГИИ

С.Г. Кузьменко
ООО “КРИПТОМЕД”, Москва

Цель: Методика флуоресцентной диагностики с индоцианином зеленым (ICG – Indo-Cyanine Green) уже зарекомендовала себя среди медицинских специалистов разных направлений как безопасный и высокоточный инструмент диагностики. Навигационная хирургия с ICG используется в онкомамологии, кардиохирургии, эндокринологии, сосудистой хирургии и т.д. Она применяется для интраоперационного анализа кровотока, лимфотока и перфузии тканей и органов. Появление отечественных препаратов и оборудования сделали технологию более доступной для лечебных учреждений РФ.

Материал и методы: Принцип ICG-навигации заключается в том, что пациенту внутривенно или внутрикочно вводится краситель индоцианин зеленый, который связывается с белком крови или лимфы и начинает флуоресцировать, то есть светиться. С помощью устройства, имеющего источник лазерного излучения и инфракрасную камеру с фильтром, данная флуоресценция регистрируется, и изображение выводится на монитор. Прибор “МАРС” имеет лазер с длиной волны 785 нм (ближний инфракрасный диапазон – БИК). При этой длине волны лучше всего обнаруживается флуоресценция ICG.

Медицинские направления и операции с открытым доступом, с применением методики:

1. Биопсия сторожевых лимфатических узлов (СЛУ) при раке молочной железы, меланоме, раке шейки матки. Картирование лимфатических сосудов и детекция сигнальных лимфоузлов позволяют снизить объем лимфодиссекции и послеоперационных последствий, таких как, отек конечностей.
2. Лимфовенозный анастомоз. Проверка качества сформированного анастомоза.
3. Детекция и оценка кровоснабжения паратитовидных желез при тиреоидэктомии.

- 4.1. Трансплантация почки. Метод применяется для оценки почечного аллотрансплантата и кровоснабжения мочеточника (для определения границы его резекции).
- 4.2. Трансплантация печени. Во время операции ICG-флуоресценция позволяет визуализировать структуру органа и локализацию опухолей, оценивать функции печени.
- 4.3. Трансплантация кожного лоскута. Оценка тканевой перфузии.
5. Абдоминальная хирургия. Определение границ резекции и оценка перфузии в анастомозах толстой кишки.
6. Аортокоронарное шунтирование. Наглядное представление кровотока позволяет хирургу в реальном времени контролировать качество проведенного шунтирования.
7. Оценка кровоснабжения мягких тканей стопы при ишемических повреждениях нижних конечностей в отделениях и центрах “Диабетическая стопа”.

Результаты: Использование методики флуоресцентной диагностики в БИК с ICG и отечественным прибором “МАРС” помогает хирургам корректировать план ведения операции и минимизирует количество послеоперационных осложнений.

Заключение: Таким образом, применение данной технологии снижает уровень инвалидизации населения за счет принципов безопасной и доказательной медицины. Это происходит благодаря интраоперационной визуализации с помощью прибора “МАРС” и точному количественному анализу интенсивности флуоресценции, которые позволяют объективно оценивать лимфоток, кровоток, а также перфузию органов и тканей.

КЛИНИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АППАРАТА “МУСТАНГ” ПРИ ЛЕЧЕНИИ РЕЦИДИВИРУЮЩИХ АФТ ПОЛОСТИ РТА В ДЕТСКОМ ВОЗРАСТЕ

М.В. Кузьмичевская^{1,2}, Н.И. Сорокин¹,
А.Г. Пащевский¹, О.Г. Аврамова²,
Я.А. Лавровская²

¹ Детская стоматологическая поликлиника
№ 30, Москва

² ДПО РМАНПО Минздрава России, Москва

Цель: Одним из наиболее распространенных видов заболеваний, которое часто проявляется у детей на слизистой оболочке рта, яв-

ляется рецидивирующие афты полости рта. Цель исследования заключалась в оценке эффективности курса лазеротерапии аппаратом “Мустанг” при рецидивирующих афтах полости рта в детском возрасте.

Материал и методы: В исследование было включено 25 детей в возрасте от 4 до 7 лет обоего пола: 13 пациентов из опытной группы и 12 пациентов из контрольной. Пациенты из опытной группы проходили курс лазеротерапии совместно с аппликациями лекарственных средств, рекомендованных при заболеваниях слизистой оболочки рта. Повторные осмотры осуществлялись на 3, 5 и 10-й дни от начала лечения. Все пациенты в день обращения имели множественные болезненные афты округлой формы размером от 2 до 5 мм. Локализация афт была различной: боковая поверхность языка, слизистая оболочка губ, щек и переходной складки. В группу исследования были включены пациенты после подробного сбора анамнеза жизни и болезни, изучения электронной медицинской карты в системе ЕМИАС и не имевшие противопоказаний для физиотерапевтического лечения. Пациентам проводилась низкоинтенсивная лазеротерапия аппаратом “Мустанг 2000” в 2 этапа: мощность 100–200 мВт/см² – противовоспалительный эффект при экспозиции 2 минуты на одно поле до исчезновения воспалительных явлений, а затем для стимуляции микроциркуляции, метаболизма и регенерации тканей в режиме 50–100 мВт/см² при экспозиции 2 минуты на каждое поле. Общий курс лечения составил 10 процедур ежедневно.

Результаты: Законные представители пациентов опытной группы отмечали снижение или отсутствие болезненности элементов поражения после первого же сеанса лазеротерапии, дети становились более спокойными, начинали принимать пищу, налаживался сон, что свидетельствовало о явном улучшении качества их жизни. На 3-й день большинство афт находились в стадии эпителизации. На 5-й день после начала лечения у пациентов опытной группы элементы поражения отсутствовали, слизистая оболочка рта была без патологических изменений.

На 5-й день после начала лечения у пациентов контрольной группы при визуальном осмотре полости рта элементы поражений находились на стадии эпителизации, болезненность отсутствовала.

На 10-й день у пациентов обеих групп слизистая полости рта была физиологической окраски, без патологических изменений.

Заключение: Применение лазерных технологий безболезненно воздействует на пораженные участки и позволяет быстро купировать болевой синдром при возникновении воспалительных явлений на слизистой оболочке рта, способствует скорейшей эпителизации слизистой оболочки рта по сравнению с пациентами, у которых применялась стандартная схема медикаментозного лечения.

КЛИНИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛАЗЕРНОГО АППАРАТА “ОПТОДАН” ПРИ ЛЕЧЕНИИ НАЧАЛЬНЫХ ФОРМ КАРИЕСА У ПОДРОСТКОВ ПОСЛЕ ОРТОДОНТИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ

*М.В. Кузьмичевская^{1,2}, Н.И. Сорокин¹,
А.Г. Пашевский¹, О.Г. Аврамова²,
Я.А. Лавровская²*

¹ Детская стоматологическая поликлиника
№ 30, Москва

² ДПО РМАНПО Минздрава России, Москва

Цель: Подтверждение эффективности применения лазерных методов в лечении ранних стадий кариеса зубов с использованием уникального прибора “Оптодан”. Согласно данным литературы, ортодонтическое лечение становится все более востребованным в разных возрастных группах. Несмотря на динамическое развитие стоматологических методов лечения, риск развития кариеса зубов, в частности деминерализация эмали во время и после ортодонтического лечения, сохраняются на высоком уровне. У лиц, находящихся на ортодонтическом лечении распространенность и интенсивность основных стоматологических заболеваний проявляется значительно больше, чем у лиц, не имеющих ортодонтических конструкций. После снятия брекет-системы до 55 % поверхностей зубов имеют очаги деминерализации, проявляющиеся в виде белых пятен и полосок, повторяющих контуры оснований брекетов. Деминерализации подвержены также моляры, которые являются опорными зубами в течение всего периода ортодонтического лечения. При ортодонтическом лечении деминерализация эмали чаще всего выявляется только на этапе снятия ортодонтической аппаратуры. На российском рынке широко представлены стоматологические средства (пасты, гели) для полноценной реминерализации эмали зубов, а их эффективность доказана в современных исследованиях.

Материал и методы: В исследовании приняло участие 23 подростка обоих полов в возрасте 15–17 лет, которые прошли ортодонтическое лечение в ГБУЗ “ДСП №30 ДЗМ”. В группу исследования были включены пациенты после тщательного и подробного сбора анамнеза жизни и болезни и не имеющие противопоказаний для физиотерапевтического лечения. Состояние твердых тканей зубов оценивалось до и после лечения визуально с использованием стоматологических инструментов, витального окрашивания красителем “Колор-тест № 2” и фотоактиватора стоматологического Estus Light (Geosoft, Россия), оснащенного диагностической насадкой. Гигиену полости рта оценивали с помощью упрощенного индекса гигиены полости рта ОНI-S (Green, Vermillion, 1964), а состояние тканей пародонта – с помощью папиллярно-маргинально-альвеолярного индекса (РМА). Лечение деминерализации эмали проводилось лазерным полупроводниковым стоматологическим терапевтическим аппаратом АЛСКПТ-01 “Оптодан”. Параметры: частотный режим II, экспозиция 2 мин на пораженные зубы. Курс – 12 процедур ежедневно.

Результаты: Хорошая гигиена полости рта была выявлена у 8 подростков. Удовлетворительная и неудовлетворительная гигиена полости рта была выявлена у 12 подростков, а плохая гигиена полости рта – у 3. При определении индекса РМА легкая степень гингивита наблюдалась у 35 %, средняя степень – у 48 % и тяжелая степень – у 17 %. После 12 процедур у 14 подростков наблюдалась тенденция к улучшению внешнего вида твердых тканей зубов: эмаль зубов была блестящей и гладкой. У 9 подростков отмечалась тенденция к уменьшению очагов деминерализации, а также стабилизации количества и размеров меловидных пятен. До физиотерапевтического лечения интенсивность окрашивания меловидных пятен оценивалась как высокая – 76 %, после курса из 12 процедур интенсивность и степень окрашивания очагов деминерализации снизились на 44 %.

Заключение: Результаты нашего исследования свидетельствуют о высокой эффективности применения лазерного прибора “Оптодан” для лечения ранних стадий кариеса и позволяют широко рекомендовать его использование.

АНТИМИКРОБНАЯ ФОТОДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕРАПИЯ В ЛЕЧЕНИИ ХРОНИЧЕСКОГО ГИПЕРПЛАСТИЧЕСКОГО ЛАРИНГИТА

Д.И. Курбанова, С.Г. Романенко, О.Г. Павлихин,
Е.В. Лесогорова, Е.Н. Красильникова,
Г.Б. Шадрин

Научно-исследовательский клинический
институт оториноларингологии
им. Л.И. Свержевского, Москва

Цель: Повысить эффективность лечения пациентов с обострением хронического гиперпластического ларингита (ХГЛ) с использованием метода эндоларингеальной антимикробной фотодинамической терапии (аФДТ).

Материал и методы: В исследование вошло 48 пациентов с обострением ХГЛ (диффузная форма без кератоза – 34, диффузная форма с кератозом – 4, ограниченная форма с кератозом – 7, ограниченная форма без кератоза – 3). Всем пациентам проводили стандартный осмотр ЛОР-органов, видеоларингоскопию, видеоларингостробоскопию, микробиологическое исследование. В 75 % ($n=36$) в значимом титре выявлена бактериальная флора (*Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* и др.), в 25 % ($n=12$) – грибковая (*Candida albicans* и др.). После первичного курса консервативной терапии в течение 14–21 дней не удалось добиться ремиссии воспалительного процесса в гортани и эрадикации выявленных ранее микроорганизмов. В связи с этим, далее проведен курс эндоларингеальной аФДТ по оригинальной методике, включающий 5 сеансов ФДТ на область голосовых складок с интервалом в 1–3 дня, с использованием фотосенсибилизатора 2 мл 0,01 % водного раствора метиленового синего и лазера с длиной волны $660 \text{ нм} \pm 5 \text{ нм}$ со световодом диффузионного типа с микролинзой на торце.

Результаты: У 37 пациентов без кератоза голосовых складок (34 – диффузная форма, 3 – ограниченная) удалось добиться полного очищения слизистой оболочки от патологического отделяемого, ремиссии воспалительного процесса, нормализации ларингостробоскопической картины и эрадикации выявленной ранее микрофлоры. У 11 пациентов с кератозом голосовых складок (4 – диффузная форма, 7 – ограниченная) добились ремиссии воспаления, очищения слизистой оболочки от воспалительных налетов, улучшения ларингостробоскопии.

ческой картины и эрадикации микробиоты, тогда как очаги кератоза на голосовых складках не исчезли, но стали более отграниченными. Эти 11 пациентов в дальнейшем были направлены на хирургическое лечение – им выполнено микрохирургическое удаление очагов кератоза и измененных участков слизистой оболочки голосовых складок. По результатам послеоперационного гистологического исследования: в 3 случаях – выявлена дисплазия эпителия легкой степени, в 8 – лейкоплакия слизистой оболочки голосовой складки без атипии. Дисплазия тяжелой степени и рак *in situ* в исследуемой выборке пациентов не обнаружены.

Предварительный вывод: Разработанная методика эндоларингеальной аФДТ повышает эффективность лечения пациентов с обострением ХГЛ, являясь наиболее эффективной у пациентов с диффузной формой ларингита, и позволяет достигнуть ремиссии воспалительного процесса и санации слизистой оболочки гортани даже при отсутствии эффекта от проведенного ранее лечения. Очаги кератоза на голосовых складках в результате проведенного лечения становятся лучше видны, тогда как воспалительный налет исчезает полностью, таким образом, появляется возможность более тщательного отбора пациентов, нуждающихся в последующем хирургическом лечении. Особенно это важно у пациентов с ларингомикозом, поскольку внешний вид воспалительных грибковых налетов может быть очень похож на лейкоплакию и гиперкератоз голосовых складок.

СИНИЙ ЛАЗЕР В ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ХРОНИЧЕСКИХ РИНИТОВ

А.В. Меленчук¹, М.В. Нерсисян^{1,2}, В.И. Попадюк¹,
А.В. Пикуленко¹

¹ Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва

² Центр хирургии головы и шеи Ильинской
больницы, д. Глухово, Московская обл.

Цель: Хронический ринит представляет собой одну из наиболее распространенных болезней носа, которым страдает около 10–20 % населения. Хирургические методы лечения являются эффективными, но излишняя агрессивность может вызывать развитие хронического атрофического ринита и синдрома пустого носа. Поэтому ведется поиск новых функционально-ориентированных методов и устройств. В

литературе имеются данные, в основном, о применении синего лазера в отохирургии и хирургии гортани. Он обладает малой глубиной проникновения в ткани и низким коэффициентом рассеяния, что обеспечивает высокую точность резки и эффективность коагуляции даже во влажной среде, что делает его более предпочтительным по сравнению с другими типами лазеров.

Цель – анализ результатов использования синего лазера в хирургическом лечении хронических ринитов, а также оценка преимуществ и недостатков данной методики, выраженности реактивных явлений в послеоперационном периоде и качества жизни пациентов.

Материал и методы: Мы использовали синий лазер с длиной волны 445 нм (WOLF-TruBlue A.R.C. Laser GmbH) для проведения эндоскопической вазотомии 15 пациентам с хроническим ринитом, в возрасте от 6 до 55 лет, средний возраст составил 42 года. Всем пациентам была выполнена эндоскопическая вазотомия при помощи синего лазера. Все операции были выполнены под общим интубационным наркозом, за исключением одной, которая была выполнена под местной анестезией (по просьбе пациентки). На 1-е, 3-е, 7-е сутки и через 1, 3 месяца выполнялся эндоскопический осмотр полости носа пациентов после вазотомии, а также анкетирование качества жизни при помощи SNOT-22.

Результаты: Проведено пилотное исследование применения синего лазера для проведения вазотомии у пациентов с хроническим ринитом. Продолжительность операции составила 24–35 минут. Средняя кровопотеря во время операции была минимальна и составила около 10 мл. Операционных осложнений не отмечалось. Болевой синдром после операции отсутствовал. На 3 сутки после операции пациенты отмечали значительное улучшение носового дыхания, реактивные явления в носу были минимальными, а количество корок было незначительное. Эндоскопическое исследование показало сокращение объема нижних носовых раковин уже на 3 сутки после операции, и существенное сокращение на 7 сутки и сохранение эффекта через 1 и 3 месяца, купирование заложенности носа и выделений из носа, улучшение качества жизни по данным анкетирования.

Заключение: Таким образом, синий лазер – это перспективный инструмент в функциональной хирургии ринитов, сочетающий высокую эффективность с минимальной травма-

тичностью. После операции отмечается минимальный реактивный отек и быстрое заживление тканей. Преимущества использования синего лазера заключаются в его эффективности, минимальной травматичности и обеспечении надежного гемостаза. Вместе с тем необходимы дальнейшие исследования по изучению отдаленных результатов после вазотомии с использованием синего лазера.

ВОЛОКОННЫЕ ЛАЗЕРЫ И СОВРЕМЕННЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

В.П. Минаев

ООО “ВПП, Лазеруан”, Фрязино

Волоконные лазеры дольше лазеров других типов шли к использованию в медицинской аппаратуре. Первый волоконный лазер (ВЛ) был создан Э. Снитцером (Polaroid) в 1961 г. [1] и к 1989 г. им же была достигнута выходная мощность 0,12 Вт. Дело в том, что было психологически трудно рассчитывать на получение от активного волокна с сердцевинной диаметром около 10 мкм сколь-нибудь значимых мощностей излучения. Прорыв произошел в 1990 г., когда В. Гапонцев и И. Самарцев представили ВЛ с выходной мощностью 2 Вт [2]. В следующем году ими не только был представлен ВЛ мощностью 3,9 Вт, но и показана возможность создания ВЛ с выходной мощностью более 100 Вт [3]. Тем не менее, потребовалось еще 10 лет до создания НТО “ИРЭ-Полус” и регистрацию первого лазерного скальпеля ЛС-1,56-“ИРЭ-Полус” с лазером на Ег-активированном волокне с длиной волны $\lambda=1,56$ мкм [4].

А в 2004 г. регистрационное удостоверение получило семейство аппаратов ЛСП-“ИРЭ-Полус”, включающее также аппараты с длинами волн $\lambda=1,06$; 1,94 мкм и двумя независимо регулируемыми излучениями $\lambda=0,97+1,55$ мкм [5]. Разработанные медицинские аппараты на ВЛ, также, как и диодных лазеров революционно отличались от аппаратов на основе традиционных лазеров:

- ✓ выполнение оптической части аппаратов в виде интегрального волоконного устройства повышает их надежность, снижает влияние на них окружающей среды и механических воздействий, упрощает и удешевляет использование. Они не требуют регулярного обслуживания;

- ✓ высокий коэффициент полезного действия, малые габариты, вес и потребление;
- ✓ обеспечена возможность вывода в тонкое рабочее волокно;
- ✓ просто реализуется вывод в рабочее волокно нескольких независимо регулируемых излучений с различными длинами волн.

Начатая в начале 2000-х гг. активная работа с ведущими российскими врачами позволила разработать и зарегистрировать больше 10 медицинских технологий, многие из которых не имеют аналогов, основанных на других способах воздействия, и успешно используются в медучреждениях.

Созданные Д. Гапонцевым и В. Канчария (IPG-Photonics) лазеры на основе активированного тулия волокна с выходной мощностью более 100 Вт позволили Н. Фриду и К. Мюррей [6] показать их эффективность при урологических операциях. На основе этих результатов в НТО “ИРЭ-Полус” были созданы, зарегистрированы и продолжают совершенствоваться аппараты семейства “Уролаз”, превосходящие по характеристикам аналоги на твердотельных лазерах.

К настоящему времени расширен набор доступных для ВЛ рабочих длин волн, в частности:

- ✓ семейство лазеров видимого диапазона с длинами волн $\lambda=0,54$; 0,56; 0,59, 0,62 и 0,66 мкм с выходной мощностью ≥ 10 Вт [7];
- ✓ рамановский лазер с длиной волны $\lambda=1,68$ мкм, соответствующий минимальному поглощению в гемоглобине, с выходной мощностью ≥ 10 Вт [8];
- ✓ оптические параметрические генераторы с накачкой от ВЛ и длиной волны $\lambda \approx 3$ мкм, соответствующей максимальному поглощению в воде с выходной мощностью до 25 Вт [9].

Все это создало задел для создания новых медицинских аппаратов.

1. E. Snitzner. Optical Maser Action of Nd+3 in Barium Crown Glass. Phys. Rev. Lett., 7, No 12, pp. 444-446, 1961.
2. V.P. Gapontsev and I. E. Samartsev. High-Power Fiber Laser // Conference edition. Advanced Solid-State Lasers, Formerly Turnable Solid-State Lasers, March 5-7, 1990, Salt Lake City, Utah, p.127.
3. V.P. Gapontsev and I.E. Samartsev. High-Power Fiber Laser // OSA Proceedings on Advanced Solid-State Lasers, 1991, 6 p. 258.
4. Регистрационное удостоверение №29.01050501/2513-01 от 6.9.2001 г.
5. Регистрационное удостоверение №29.01040503/2512-04 от 9.03.2004 г.
6. N.Fried, K.Murray. High-Power Thulium Fiber Laser ablation of the Canine Prostate. Proc. of SPIE, v. 5686, DOI: 10.1117/12.586358.

7. Сурин А.А., Борисенко Т.Е., Стирманов Ю.С. и др. Лейка мощных непрерывных лазеров видимого диапазона VLM с мощностью излучения от 1,5 до 20 Вт в диапазоне 513-730 нм. Лазер-информ № 11-12 (626-627) июнь 2018, с. 5-8.
8. Zhilin K.M., Minaev V.P., Samartsev I.E., Tezadov Ya.A.. Raman Laser at 1,68 μm for Medical Applications. 5th International Symposium on High-Power Fiber Lasers and their Applications, at ICLO 2010 June 28th – July 1st, 2010, St.Petersburg, Russia.
9. Larionov I.A., Gulyashko A.S., Alekseev D.A., et.al. High-efficient DFG of fiber lasers radiation in the spectral region of 3 μm for soft tissue ablation. 6th International Symposium on Lasers in Medicine and Biophotonics, at ICLO 2020. November 1st-5th.

ВЕДУЩАЯ РОЛЬ В РАЗВИТИИ ЛАЗЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ ВЫДАЮЩЕГОСЯ АНАТОМА ПРОФЕССОРА ВАЛЕНТИНА ИВАНОВИЧА КОЗЛОВА

*М.В. Михалкина, А.П. Михалкин
Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург*

Доклад посвящен доктору медицинских наук, профессору, заслуженному деятелю науки Российской Федерации, академику Международной академии наук высшей школы, академику Европейской академии естественных наук, заведующему кафедрой анатомии Медицинского института Российского университета дружбы народов, главному научному сотруднику Государственного научного центра лазерной медицины Федерального медико-биологического агентства России (ФГБУ ГНЦ ЛМ ФМБА РФ) Валентину Ивановичу Козлову. Валентин Иванович закончил именно тот вуз, в котором начинались исследования медицинских эффектов лазерного излучения, это Российский научно-исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова. В этом вузе проходил аспирантуру и основоположник лазерной хирургии О.К. Скобелкин. Именно он позвал В.И. Козлова руководить медико-биологическим департаментом ГНЦ ЛМ ФМБА РФ. Валентин Иванович согласился и 10 лет, с 1986 по 1996 гг., успешно осуществлял это руководство. За короткий срок им совместно с чл.-корр. РАМН О.К. Скобелкиным были организованы и проведены фундаментальные исследования по изучению влияния высоко- и низкоэнергетического лазерного излучения на биоткани и систему микроциркуляции, что позволило раскрыть патогенетические механизмы воздействия лазерного излучения, в частности, крас-

ного и инфракрасного спектральных диапазонов на микроциркуляцию крови, а также показать зависимость структурных изменений в организме от дозы и интенсивности фотовоздействия. Разработанные под руководством В.И. Козлова методические рекомендации и учебные пособия по применению лазеров в диагностике и лечении различных заболеваний внедрены в практику и широко используются в лечебных учреждениях, накопленные данные обобщены в монографиях. В 1997 г. проф. В.И. Козловым совместно с фирмой “Техника” был основан первый в нашей стране научно-практический журнал “Лазерная медицина”, и много лет Валентин Иванович являлся его бессменным главным редактором. С 1996 г. проф. В.И. Козлов заведует кафедрой анатомии в РУДН. Под его руководством сформировалась анатомическая научная школа клинко-экспериментального направления, в которой активно разрабатываются вопросы диагностики и лечения расстройств микроциркуляции с помощью лазерного излучения. Много лет проф. В.И. Козлов был заместителем председателя Межведомственного научного совета РАМН и Минздрава РФ по лазерной медицине и председателем проблемной комиссии “Патогенетические механизмы взаимодействия лазерного излучения с биотканями” этого совета. Он и сейчас участвует в работе ряда научных организаций, в т.ч. Международного общества оптической инженерии и Лазерной ассоциации России.

Закключение: 13 декабря 2025 г. исполнится 85 лет со дня рождения проф. В.И. Козлова. Это обязывает вспомнить выдающиеся заслуги юбиляра перед Родиной и наукой и пожелать ему новых побед и свершений, в т.ч. в области лазерной медицины.

ВКЛАД В РАЗВИТИЕ ЛАЗЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ ИЗВЕСТНОГО АНАТОМА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН АЛШИНБАЯ РАХИШЕВИЧА РАХИШЕВА

*М.В. Михалкина, А.П. Михалкин
Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург*

Доклад посвящен видному казахскому анатому, доктору медицинских наук, профессору, академику Национальной академии наук Казахстана Алшынбаю Рахисевичу Рахисеву. Этот замечательный ученый, педагог и обще-

ственный деятель стоял у истоков лазерной медицины в своей республике, очень много сделал для ее становления и развития, в советское время был широко известен в СССР и за его пределами как активный поборник внедрения лазерных технологий в здравоохранение.

Профессор Алшинбай Рахисевич Рахисhev с 1975 г. был бессменным заведующим, а с 2003 г. – почетным заведующим кафедрой нормальной анатомии Алматинского медицинского института (сейчас это Казахский национальный медицинский университет им. С. Асфендиярова). Еще в конце 60-х годов он увлекся экспериментальной разработкой влияния низкоинтенсивных газовых лазеров на периферическую нервную систему. На основании комплексного методического подхода А.Р. Рахисhevым был впервые выявлен и доказан стимулирующий эффект лазерного излучения на репаративную регенерацию периферической нервной системы в условиях коллатерального кровообращения при выключении магистральных сосудов. Будучи председателем Координационного совета Казахстана по изучению биологического действия лазерного излучения, Алшинбай Рахисhevич много сделал для продвижения перспективных экспериментальных и клинических исследований по лазерной тематике. Эти работы были обобщены в сборниках трудов “Биологическое действие лазерного излучения” (Алматы, 1972) и “К 60-летию Октября” (Алматы, 1977). Помимо работы в медицинском институте, А.Р. Рахисhev с 1970 г. руководил работой научной группы физико-биологических исследований Института ядерной физики Академии наук Казахстана, где успешно проводились экспериментальные исследования по изучению воздействия ионизирующих излучений на центральную нервную систему. Также он был членом проблемной комиссии Научного совета “Лазерная медицина, хирургия и лазерная медицинская техника” Академии наук СССР. В 1980 г. в Париже А.Р. Рахисhev был избран почетным президентом Всемирной ассоциации по применению мягкого лазерного излучения в медицине. В 1994 г. Национальное патентное ведомство Республики Казахстан выдало Алшинбаю Рахисhevичу авторское свидетельство на изобретение по применению лазеров в лечебных целях.

Заключение: Алшинбай Рахисhevич Рахисhev прожил долгую и очень плодотворную жизнь. 21 апреля 2025 г. исполнилось 5 лет со дня его кончины. А 19 апреля следующего 2026 г. исполнится 95 лет со дня рождения че-

ловека, которого при жизни называли “гордостью Казахстана”, “генератором нового интеллекта”. Заслуги академика А.Р. Рахисheva перед наукой, образованием, здравоохранением Казахстана и всего бывшего СССР очень велики, и среди них особенно ценен его значительный вклад в становление и развитие лазерной медицины.

ДИОДНЫЙ ЛАЗЕР В АМБУЛАТОРНОЙ СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

*Е.А. Морозова, С.Н. Разумова, С.М. Магомедова
Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва*

Цель: Повышение эффективности хирургического лечения пациентов со стоматологическими заболеваниями с помощью диодного лазера.

Материал и методы: В клинике применяли диодный лазер “BioLase” с длиной волны 940 нм при лечении пациентов со стоматологическими заболеваниями полости рта. В зависимости от метода лечения все пациенты были распределены на 2 группы: в 1-й группе применяли традиционный метод лечения, во 2-й группе лечение проводили с помощью диодного лазера мощностью от 1,0 до 2,4 Вт в импульсно-периодическом режиме.

Результаты: При проведении операций скальпелем у пациентов 1-й группы визуализация операционного поля была затруднена за счет кровоточивости тканей, поэтому требовалось больше времени на операцию. При использовании диодного лазера отмечали отсутствие кровотечения, что создавало условия для более точного иссечения патологических тканей в операционной области. На раневой поверхности формировали равномерную коагуляционную пленку с помощью круговых движений лазерного световода на расстоянии 0,1 см от раневой поверхности, в послеоперационном периоде не отмечали выраженного болевого синдрома, поэтому необходимость назначения обезболивающих препаратов не возникала. При традиционном методе лечения пациенты предъявляли жалобы на боль и отек, что требовало приема обезболивающих препаратов на протяжении первых $3 \pm 0,5$ суток. При динамическом наблюдении выявлены различия в сроках заживления операционной раны в зависимости от способа операции. У пациентов, раны

которых были ушиты, разница сроков в зависимости от способа операции составила $2 \pm 0,5$ суток, в случае заживления раны под фибриновой пленкой и под йодоформным тампоном разница составила $5 \pm 0,5$ суток. При оперативных вмешательствах с помощью диодного лазера в послеоперационном периоде через 3 месяца наблюдали образование мягкого эластичного рубца, при использовании традиционного метода в те же сроки рубец был более плотный и менее эстетичный.

Заключение: Применение излучения диодного лазера у пациентов со стоматологическими заболеваниями способствует повышению эффективности хирургического лечения, так как при этом снижается болевой синдром, ускоряется процесс заживления послеоперационной раны, сокращаются сроки лечения, послеоперационный период протекает более благоприятно.

ПАТОГЕНЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОЧЕТАННОГО ПРИМЕНЕНИЯ НИЗКОИНТЕНСИВНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ И ПРЕПАРАТОВ БАКТЕРИОФАГОВ В ЛЕЧЕНИИ ГИНЕКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФЕКЦИИ

Т.М. Мотовилова¹, Л.Г. Горшунцова²

¹ Приволжский исследовательский медицинский университет Минздрава России, Нижний Новгород

² Филиал АО "НПО "Микроген" Предприятие по производству бактериальных препаратов "ИмБио", Нижний Новгород

Цель: Разнообразие клинических проявлений инфекционно-воспалительных заболеваний женского полового тракта, рост частоты аллергических реакций на традиционные лекарственные препараты, значительное число противопоказаний и побочных эффектов, риск полипрагмазии мотивируют на поиск альтернативных подходов к лечению. С этой точки зрения весьма перспективным и интересным представляется сочетанное использование низкоинтенсивной лазеротерапии и бактериофаготерапии. Настоящий эксперимент направлен на обоснование целесообразности совместного применения данных лечебных факторов в терапии гинекологической инфекции.

Материал и методы: В эксперименте использовались образцы интести-бактериофага

серии 17, часть из которых подверглась воздействию низкоинтенсивного инфракрасного лазерного излучения. Использованы штаммы музейной коллекции цеха бактериофагов к *Staphylococcus aureus* (штаммы 5, 67, 77, 79, 146), *Proteus mirabilis* (штаммы 1, 4, 196, 210, 659), *Pseudomonas aeruginosa* (штаммы 1–5), *Escherichia coli* (сероварианты O18, O20, O25, O26, O33 № 318, 145, 160, 2172, 428 соответственно). Образцы в условиях стерильного бокса облучали в чашках Петри лазером с длиной волны 0,89 мкм, с частотой 80 Гц, 600 Гц и 1500 Гц с экспозицией 3 минуты, с расстояния 4 см. Затем готовилось десять последовательных разведений – от 10^{-1} до 10^{-10} для всех исследуемых образцов: как исходного контрольного, так и для облученных. В каждое из разведений вносилась разведенная в 10^{-1} суточная агаровая культура, кроме контрольной пробирки. Результаты учитывались после соответствующего для каждой бактериальной культуры срока инкубации. Определение активности бактериофагов проводилось методом титрования. За степень активности или "титр" бактериофага принималось то наибольшее разведение препарата, для которого в пробирке появлялась прозрачная среда в результате полного лизиса микроорганизмов фаговыми частицами, т.е. рост культуры не наблюдался.

Результаты: Степень литической (бактерицидной) активности бактериофагов после облучения инфракрасным низкоинтенсивным лазером в отношении гомологичных микроорганизмов не снижалась, а в ряде ситуаций, в частности, относительно золотистого стафилококка, синегнойной палочки, кишечной палочки – увеличивалась вне зависимости от частоты облучения.

Заключение: Ввиду отсутствия антагонистических взаимодействий и выявленной тенденции к усилению лизирующей способности облученных лазером фагов в отношении гомологичных культур, можно сделать вывод о целесообразности сочетанного применения низкоинтенсивной инфракрасной лазеротерапии и бактериофаготерапии в комплексном лечении инфекционно-воспалительных заболеваний гениталий. Два этих лечебных фактора обладают взаимопотенцирующими синергичными влияниями при совместном назначении.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРА С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 445 НМ ПРИ РЕВИЗИОННОЙ ХИРУРГИИ ПОЛИСИНУСИТОВ

*В.В. Мунтян^{1,2}, М.В. Нерсисян^{1,2}, В.И. Попадюк¹,
Х. Газаль^{1,2}, А.В. Меленчук^{1,2}, А.В. Пикуленко^{1,2}*

¹ Российский университет дружбы народов

им. Патриса Лумумбы, Москва

² Ильинская больница, пос. Ильинское,

Московская обл.

Цель: Ревизионная функциональная эндоскопическая хирургия околоносовых пазух проводится у пациентов с рецидивирующим хроническим риносинуситом после неэффективного первичного хирургического вмешательства и длительной медикаментозной терапии, не дающей эффекта. Одной из ключевых проблем при повторных вмешательствах является выраженное рубцевание, искаженная анатомия и значительное интраоперационное кровотечение, затрудняющее ориентацию в условиях измененной после предыдущих операций анатомии полости носа и ОНП. Применение диодного лазера с длиной волны 445 нм (синего лазера) в ринохирургии позволяет сочетать точное рассечение тканей и эффективную коагуляцию в условиях ограниченной визуализации и кровоточивости и минимальную травматизацию слизистой оболочки полости носа. Цель данного исследования – представить опыт применения синего лазера при ревизионной хирургии полисинуситов, оценить его преимущества и выявить ограничения.

Материал и методы: Проведено наблюдение за 9 пациентами с диагнозом хронического полисинусита, которым выполнена ревизионная эндоскопическая хирургия околоносовых пазух. Всем пациентам ранее проводилась функциональная эндоскопическая синусохирургия (FESS) за 12 месяцев и более до настоящего обращения. У всех пациентов при КТ были выявлены воспалительные изменения в лобных, решетчатых, верхнечелюстных и клиновидных пазухах. При ревизионных вмешательствах применялся синий диодный лазер TruBlue (445 нм, A.R.C. Laser GmbH, Германия) на первом этапе хирургии для рассечения спаек, коагуляции сосудов и работы в области синехий и стенозов в условиях плохой визуализации и отсутствия нормальных анатомических ориентиров. Оценивались операционная кровопотеря, выраженность рубцовых изменений, продолжительность операции, реак-

ция слизистой в послеоперационном периоде и сроки ее заживления.

Результаты: Во всех случаях удалось добиться эффективного гемостаза и точного рассечения синехий с минимальных значений травматизации окружающих тканей и кровопотерь. Средняя кровопотеря составила 100 мл (от 50 до 250 мл), длительность операции сократилась на 20 % по сравнению с сопоставимыми вмешательствами без лазера. Послеоперационный период протекал без осложнений, минимальная отечность слизистой наблюдались у большинства пациентов. Отмечено быстрое заживление слизистой и отсутствие рецидива в течение 6 месяцев наблюдения.

Заключение: Использование синего лазера с длиной волны 445 нм в ревизионной FESS полисинуситов позволяет значительно снизить кровопотерю, улучшить визуализацию, минимизировать хирургическую травму и ускорить послеоперационное восстановление. Данный метод может быть рассмотрен как эффективное дополнение к стандартным техникам при сложных ревизионных вмешательствах для гемостаза и рассечения синехий.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРА С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 445 НМ В РЕВИЗИОННОЙ ЭНДОСКОПИЧЕСКОЙ ХИРУРГИИ ХРОНИЧЕСКОГО ПОЛИСИНУСИТА, АСОЦИИРОВАННОГО С РИНОСКЛЕРОМОЙ

*В.В. Мунтян^{1,2}, М.В. Нерсисян^{1,2}, В.И. Попадюк¹,
Х. Газаль^{1,2}, А.В. Пикуленко^{1,2}*

¹ Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва

² Ильинская больница, пос. Ильинское,
Московская обл.

Цель: Лазерные технологии в ринохирургии открывают новые возможности для проведения малоинвазивных операций с высокой точностью и минимальной травматизацией тканей. Синий диодный лазер (445 нм) демонстрирует высокую эффективность в условиях выраженного воспаления и сосудистой патологии за счёт своей способности к точной коагуляции и минимальному термическому повреждению слизистой. Ввиду хронического характера риносклеромы и тенденции к образованию грубых синехий и стенозов, применение лазера в ревизионной хирургии хронического риносинусита представляется перспективным на-

правлением. Цель работы – описать опыт использования синего лазера 445 нм при эндоскопической ревизионной хирургии лобной пазухи у пациента с хроническим фронтитом, ассоциированным с риносклеромой.

Материал и методы: Проведено оперативное вмешательство у пациентки с подтверждённым диагнозом риносклеромы в фиброзной стадии, хроническим риносинуситом (фронтитом, этмоидитом, гайморитом, сфеноидитом). Операция выполнялась под наркозом с использованием электромагнитной навигации (погрешность <2 мм). Произведено удаление крючковидного отростка справа, расширение естественного и дополнительного соустья верхнечелюстной пазухи, санация и промывание пазух. В левой половине носа удалён плотный воспалительный конгломерат и дренировано мукоцеле задних решётчатых ячеек. Производилось последовательное лазерное рассечение плотных синехий и рубцовых изменений, в том числе в области лобного кармана, с его расширением под углом 45° вперёд. В завершение выполнена вазотомия синим лазером нижних носовых раковин с обеих сторон с хорошим сокращением тканей. Общая кровопотеря не превысила 50 мл. В послеоперационном периоде проводились регулярные эндоскопические осмотры и топическая антибактериальная терапия.

Результаты: Операция выполнена полностью под контролем зрения, без интра- и послеоперационных осложнений. Использование лазера на всех этапах рассечения и коагуляции обеспечило минимальную кровопотерю, чёткую визуализацию анатомических ориентиров и сохранность окружающих тканей. Применение лазера в условиях выраженного склероза позволило безопасно провести лизис синехий и достичь адекватной санации лобной пазухи без выраженных ожогов слизистой оболочки. После операции наблюдалось быстрое заживление и минимальные реактивные явления. Пациентка отмечала значительное улучшение носового дыхания и обоняния.

Заключение: Синий лазер (445 нм) продемонстрировал высокую эффективность при ревизионной эндоскопической хирургии хронического риносинусита, осложнённого риносклеромой. Возможность работы в условиях выраженного воспаления и анатомических искажений, а также минимальные реактивные явления в послеоперационном периоде, делает данный метод перспективным в хирургии рецидивирующего синусита, особенно при склеротических формах. Дальнейшие исследова-

ния в этом направлении представляются перспективными.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ИНТЕГРИРОВАННОГО ДАТЧИКА РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПА ТКАНИ В НОВОМ ТУЛИЕВОМ ВОЛОКОННОМ ЛАЗЕРНОМ АППАРАТЕ

М.В. Мурашкина¹, П.С. Козлова¹, А.И. Хижняк¹,
Е.С. Ермилова⁴, О.И. Байцаева⁴,
К.С. Маслёнкина^{2,3}, Л.М. Михалева^{1,3},
С.А. Будзинский^{1,2}, С.Г. Шаповальянц^{1,2},
В.А. Андреева⁴, Е.Д. Федоров^{1,2}

¹ Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва

² Городская клиническая больница № 31 имени академика Г.М. Савельевой Департамента здравоохранения города Москвы, Москва

³ НИИМЧ им. акад. А.П. Авцына ФГБНУ "РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского", Москва

⁴ ООО "ВПГ Лазеруан", Фрязино

Цель: Вариабельность толщины стенки желчных протоков зависит от калибра и анатомического расположения. Эндоскопической внутрипротоковой контактной литотрипсии подвластны конкременты, располагающиеся как во внепеченочных протоках с толщиной стенки до 2 мм, так и во внутрипеченочных сегментарных/субсегментарных протоках с толщиной стенки до 0,5 мм. При этом риск перфорации при лазерной литотрипсии зависит от глубины термического повреждения по отношению именно к толщине стенки протока. Нами проведена экспериментальная оценка безопасности применения нового тулиевого волоконного лазера (ТВЛ) Urolase+ (ООО "ВПГ Лазеруан", Россия) в режимах Standard и UltraPulse.

Материал и методы: В качестве образцов использовались фрагменты печени свиньи *ex vivo* с желчными протоками. Каждый образец помещался в металлический держатель, выравнивался по целевой пластине и погружался в воду комнатной температуры. Волоконный инструмент (ВИ) с диаметром светонесущей жилы 365 мкм был закреплен в держателе для предотвращения вибраций. Установка, смонтированная на моторизованной XY-платформе с микрометрическим винтом, поддерживала квазиконтактное расстояние (500 мкм) между кончиком ВИ и поверхностью образца. По-

сколько первый лазерный импульс в серии вносит больший вклад в глубину повреждения, мы оценили воздействие одного импульса на слизистую оболочку желчных протоков, чтобы определить безопасные режимы. ТВЛ работал в двух режимах: Standart (1, 2, 4, 5, 6 Дж) и UltraPulse (2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40 Дж). После эксперимента образцы фиксировали в формалине для гистологического анализа глубины и диаметра поражения.

Результаты: При лазерном воздействии наблюдалось локальное коагуляционное повреждение слизистой оболочки желчных протоков в виде точечного очага черного цвета. Увеличение энергии приводило к деформации тканей, образованию более глубоких дефектов и коагуляционному спаиванию краев повреждения, создавая эффект кратероподобного поражения. Гистологические результаты показали, что в режиме Standard глубина повреждения тканей и диаметр коагуляционного некроза варьировали от 0,04 мм (1 Дж) до 0,30 мм (6 Дж). В режиме UltraPulse глубина повреждения варьировала от 0,1 мм (2 Дж) до 0,5 мм (40 Дж).

Заключение: Исследование показало, что более высокая энергия нового ТВЛ в режимах Standard и UltraPulse увеличивает глубину и диаметр коагуляционного некроза. Поскольку безопасная глубина воздействия ограничена толщиной стенки желчных протоков, выбор режима и энергии лазера должен учитывать их анатомию во избежание ятрогенных повреждений. Для внутрипеченочных протоков предпочтительна низкая энергия (Standard до 4–5 Дж, UltraPulse до 10 Дж). Для внепеченочных протоков допустима максимальная энергия. Во избежание случайного повреждения тканей во время литотрипсии целесообразно применять датчик распознавания типа ткани, предотвращающий случайное воздействие на стенку желчного протока.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В СТЕНКЕ ЖЕЛЧНЫХ ПРОТОКОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НОВОГО ТУЛИЕВОГО ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА ДЛЯ ВНУТРИПРОТОВОЙ КОНТАКТНОЙ ЛИТОТРИПСИИ

М.В. Мурашкина¹, П.С. Козлова¹, А.И. Хижняк¹,
Е.С. Ермилова⁴, О.И. Байцаева⁴,
К.С. Маслénкина^{2,3}, Л.М. Михалева^{1,3},

С.А. Будзинский^{1,2}, С.Г. Шаповальянц^{1,2},
В.А. Андреева⁴, Е.Д. Федоров^{1,2}

¹ Российский национальный исследовательский
медицинский университет им. Н.И. Пирогова
Минздрава России, Москва

² Городская клиническая больница № 31 имени
академика Г.М. Савельевой Департамента
здравоохранения города Москвы, Москва

³ НИИМЧ им. акад. А.П. Авцына ФГБНУ “РНЦХ
им. акад. Б.В. Петровского”, Москва

⁴ ООО “ВПГ Лазеруан”, Фрязино

Цель: Определение допустимых пределов средней мощности лазера, при которых будет обеспечена термическая безопасность выполнения внутрипротоковой контактной литотрипсии.

Материал и методы: Для достижения цели исследования был проведен следующий эксперимент. Силиконовая модель билиарного тракта с фиксированными в ней тремя термопарами была погружена в воду комнатной температуры. Термопары располагались на прямой в едином поперечном сечении протока в центре и с радиальными смещениями 5 и 7 мм относительно центральной оси. Для проведения лазерного волокна в просвет модели и наполнения просвета модели водой нами использовался аппарат SpyGlass-DS-II (Boston Scientific) с помпой для ирригации Olympus (скорость подачи воды 60 мл/мин). Лазерное воздействие осуществлялось с применением нового тулиевого волоконного лазера (ТВЛ) Urolase+ Premium (ООО “ВПГ Лазеруан”, Россия). Средняя мощность варьировалась от 5 до 40 Вт. Температурные данные регистрировались через 30 и 60 с от начала лазерной эмиссии в условиях активной ирригации и стабильного объема водной среды.

Результаты: В отсутствие ирригационного потока критическая температура начала необратимых изменений слизистой оболочки (43°C), была впервые достигнута для центральной термопары при мощности в 40 Вт в течение 30-секундной лазерной эмиссии. В условиях постоянной ирригации пиковая температура составила 30,2°C при 40 Вт, что обеспечивает термическую безопасность. При больших мощностях (40–70 Вт) в стоячей воде ожидается гипертермия стенок протока, что подчёркивает необходимость проведения литотрипсии при постоянной ирригации с достаточным потоком жидкости. Минимальные настройки излучения в

эксперименте (5 Вт) привели к некритическому повышению температуры (26,9°C в неподвижной водной среде; 22,9°C при активной ирригации). Для работы с переменным потоком рекомендуется осуществлять интервальную подачу лазерного излучения (10 с) в сопровождении последующей ирригации для восстановления оптимальной температуры. Непрерывная же ирригация (60 мл/мин) поддерживала безопасную температуру (<43°C) на всех уровнях мощности лазера Urolase+ Premium, даже во время 60-секундной активации.

Заключение: Непрерывная ирригация воды комнатной температуры со скоростью 60 мл/мин) обеспечивает термическую безопасность во время внутрипротоковой контактной лазерной литотрипсии билиарных камней. Также при непрерывной ирригации критически важны 10-секундные интервалы в воздействии для предотвращения термического повреждения стенки желчных протоков. Данные рекомендации позволяют оптимизировать эффективность и безопасность применения нового тулиевого волоконного лазера в панкреатобилиарной эндоскопии.

ФОТОДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕРАПИЯ В ЛЕЧЕНИИ ПОСЛЕОПЕРАЦИОННОЙ ЛИМФОРЕИ: РЕЗУЛЬТАТЫ КЛИНИЧЕСКОЙ АПРОБАЦИИ

*М.В. Неклюдова, Е.Н. Белов
Национальный медицинский
исследовательский центр "Лечебно-
реабилитационный центр" Минздрава России,
Москва*

Цель: В современной онкологической практике при лечении рака молочной железы широкое распространение получили расширенные и расширенно-комбинированные оперативные вмешательства, сопровождающиеся лимфодиссекцией. Одной из наиболее сложных и актуальных проблем, требующих решения, являются послеоперационные осложнения, связанные с нарушением лимфодренажа. Интраоперационная визуализация лимфатических сосудов представляет значительные трудности ввиду медленного лимфотока и отсутствия у лимфы специфической окраски. Особенностью лимфореи является ее корреляция с объемом выполненной лимфодиссекции, а не с техникой выполнения операции. Развитие

лимфореи негативно сказывается на заживлении раны, что приводит к увеличению продолжительности пребывания пациентов в стационаре. Хроническая, не купирующаяся консервативными методами лимфорея зачастую требует длительного стационарного лечения, а в некоторых случаях – повторной госпитализации, что обуславливает необходимость поиска и применения эффективных методов ведения больных данной категории. Значительную проблему представляет необходимость длительного (до 1 года и более) амбулаторного лечения после выписки из стационара, заключающегося в аспирации содержимого из сформировавшихся сером, что существенно затрудняет и отодвигает начало адъювантной терапии.

Материал и методы: После проведения амбулаторного, обследования и включения пациента в исследование, пациенты госпитализировались в круглосуточный стационар. Однократно вводится фотосенсибилизирующий препарат на основе хлорина е6 в дозе 0,5 мг/кг, разведенный раствором натрия хлорида 0,9 % – 100,0 в/в капельно в течение 30 мин. Выдерживается лекарственно-световой период (120–180 мин) с последующим фотодинамическим облучением полости лимфатической кисты светодиодным лазером, длина волны – 662 ± 1 нм. Сеанс ФДТ проводится под УЗ-навигацией после прокалывания кожи над полостью кисты катетером для внутривенных инъекций 16 G. Световод диффузионного типа диаметром 600 мкм устанавливается в полость так, чтобы световое пятно захватывало максимально возможную площадь лимфатической кисты. Оптимальной для лечения установлена световая доза в 20 Дж/см² при плотности мощности 0,3 Вт/см².

Результаты: В ходе проведенной клинической апробации были получены положительные результаты применения фотодинамической терапии. В исследование были включены 83 пациентки с послеоперационной лимфореей и сформировавшимися серомами. У 76 пациенток (91,5 %) после проведения одного сеанса ФДТ в течение 2–4 недель было достигнуто полное прекращение лимфореи. Во время и после проведения сеанса ФДТ не было отмечено каких-либо неблагоприятных реакций или осложнений.

Заключение: Таким образом, фотодинамическая терапия является эффективным и безопасным методом лечения послеоперацион-

ной лимфореи. Один сеанс ФДТ позволяет купировать лимфорею, ускорить резорбцию лимфоцелле, сократить сроки реабилитации, снизить вероятность повторных госпитализаций и уменьшить длительность амбулаторного послеоперационного лечения, что обеспечивает возможность своевременного начала адъювантной терапии.

ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ДИОДНОГО ЛАЗЕРА НА ЗАЖИВЛЕНИЕ И ПОСЛЕОПЕРАЦИОННУЮ БОЛЬ ПРИ УДАЛЕНИИ ТРЕТЬИХ МОЛЯРОВ НА НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ

*М.Б. Оон, Н.М. Разумов, Е.А. Морозова
Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва*

Цель: Повышение эффективности при удалении ретинированных третьих моляров на нижней челюсти с применением излучения диодного лазера.

Материал и методы: После удаления ретинированных зубов мудрости на нижней челюсти у пациентов использовали высокоинтенсивное и низкоинтенсивное излучение диодного лазера Biolase с длиной волны 940 нм. Всего было обследовано и пролечено 20 пациентов с затрудненным прорезыванием зубов мудрости на нижней челюсти, у которых было показание к удалению зубов. Все пациенты были разделены на две группы: в 1 группе для бактерицидной обработки лунки удаленного зуба мудрости использовали лазерное излучение мощностью 1 Вт, воздействие проводили в течении 1 мин и на 3-и сутки с помощью специальной насадки для снятия боли воздействовали на кожу в области наиболее выраженного послеоперационного коллатерального отека мощностью 4 Вт в течении 10 мин; во 2-й группе удаление зубов проводили без использования лазера.

Результаты: По данным клинических методов исследования при использовании лазерного излучения в послеоперационном периоде у пациентов при удалении зубов мудрости на нижней челюсти отмечено снижение боли, уменьшение коллатерального отека, сокращение сроков эпителизации раны, осложнений и образование грубых рубцов не наблюдали. У пациентов без применения лазерного излучения в послеоперационном периоде регистрировали боль выраженной интенсивности в течении первых

3,0±0,5 суток, коллатеральный отек в течение 5,0±0,5 суток, при этом пациенты принимали обезболивающие препараты в течение 3 дней, в отличие от пациентов у которых применяли диодный лазер. Эпителизацию послеоперационной раны в области удаленных зубов при использовании лазера наблюдали на 1,0±0,5 суток раньше, чем при традиционном лечении. При проведении оценки температурных изменений кожи в области коллатерального отека методом контактной термометрии и методом бесконтактной инфракрасной термографии на 3-и сутки и 5-е сутки была выявлена более низкая температура у пациентов при использовании лазерного излучения. По данным микрофокусной рентгенографии процессы регенерации костной ткани в области послеоперационных костных дефектов при использовании лазера и без применения лазера были практически сопоставимы, через 3 месяца отмечали формирование молодых костных балок, через 6 месяцев костные дефекты были восстановлены.

Заключение: Применение высокоинтенсивного и низкоинтенсивного излучения диодного лазера Biolase с длиной волны 940 нм способствует повышению эффективности при удалении ретинированных третьих моляров на нижней челюсти, так как в послеоперационном периоде уменьшается боль и отек, отсутствуют осложнения и образование грубых рубцов, ускоряется заживление ран.

МИКРОКОАГУЛЯЦИЯ ФЛФ СЛИЗИСТОЙ ОБОЛОЧКИ РТА У ПАЦИЕНТОВ С ДЕФИЦИТОМ КЕРАТИНИЗИРОВАННОЙ ДЕСНЫ

*П.Р. Османов, Е.А. Морозова, Х.С. Латипов
Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва*

Цель: Повышение эффективности лечения пациентов с дефицитом кератинизированной десны путем применения неабляционного фракционного фототермолиза с помощью излучения диодного лазера.

Материал и методы: Исследование включало 2 этапа: экспериментальный и клинический. В эксперименте на лабораторных животных кроликах породы шиншилла проводили воздействие лазером с длиной волны 1550 нм на слизистую оболочку рта фракционным лазерным фототермолизом (ФЛФ). Животных распределили на

3 группы: в 1-ой группе воздействовали с энергией 70 кДж; во 2-ой группе – 100 кДж; в 3-ей группе – 130 кДж. На слизистой оболочке рта кроликов создавали изолированные лазерные микроколоники, площадь покрытия коагуляционными микроколонками была равномерной, расстояние между ними составляло 1,5 мм, под углом 90°. Лазерную обработку слизистой оболочки ФЛФ производили трижды с промежутками в 2 недели, гистологическое и иммунологическое исследование проводили на 1, 14, 28 и 42-е сутки. В клинике ФЛФ применяли у пациентов с хроническим генерализованным пародонтитом и у пациентов с дентальным периимплантитом вне обострения, у которых наблюдали дефицит кератинизированной десны. Обработку проводили без местной анестезии, начиная с минимальной мощности 90 мДж, при удовлетворительной переносимости, повышали на 10 мДж до 100 мДж и 110 мДж соответственно. Лазерную обработку десны у пациентов проводили во время первого посещения, затем на 14 и 28-е сутки. Клинически в динамике на 1, 3, 5 и 7 сутки оценивали отек, гиперемию, боль, толщину и ширину кератинизированной десны, контроль лечения через 3 месяца.

Результаты: В эксперименте на животных по данным гистологического исследования было выявлено, что воспалительные изменения в слизистой оболочке в зоне воздействия были в большей степени связаны с ограничением зон фибриноидного некроза и отмечались максимально в группе 70 кДж и минимально в группе 130 кДж. Проллиферативные изменения были в большей степени связаны с активацией пролиферации фибробластов и реактивным утолщением эпителия и отмечались максимально в группе 100/130 кДж и минимально в группе 70 кДж.

Клинически при ФЛФ у пациентов с хроническим пародонтитом и дентальным периимплантитом, при оценке воспаления в области воздействия максимальный отек и гиперемия были на 1-е сутки после обработки и полностью отсутствовали на 7-е сутки. Гиперемии и коагуляционного некроза не наблюдали. Болевые ощущения в ходе ФЛФ были минимальны и не требовали приема обезболивающих препаратов. При измерении ширины и толщины кератинизированной десны в контрольных точках через 3 месяца – ширина кератинизированной десны увеличилась с 0,7 мм до 0,8 мм, толщина кератинизированной десны – от 0,5 мм до 0,7 мм. В результате ФЛФ у пациентов с дефицитом кератинизированной десны было достигнуто улучшение

кровообращения за счет ангиогенеза и активации регенеративных процессов.

Заключение: Таким образом, применение ФЛФ у пациентов с хроническим генерализованным пародонтитом и у пациентов с дентальным периимплантитом вне обострения, имеющих дефицит кератинизированной десны, позволило улучшить биотип десны, что позволяет рассматривать данный метод как перспективный для повышения эффективности лечения воспалительных заболеваний пародонта.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЛАЗЕРНОЙ ДОПЛЕРОВСКОЙ ФЛОУМЕТРИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОРТОСТАТИЧЕСКОГО ТЕСТА У ЗДОРОВЫХ ОБСЛЕДУЕМЫХ

Д.В. Пашкова, Ю.А. Попова

*Институт медико-биологических проблем
Российской академии наук, Москва*

Цель: Начиная с первых космических полетов и до настоящего времени в космической медицине остается актуальной проблема возникновения у космонавтов послеполетной ортостатической непереносимости. Поскольку феномен развития снижения ортостатической устойчивости после воздействия невесомости достаточно сложный и многофакторный, требуется изучение реакции организма на ортостатическое воздействие на всех уровнях, в том числе и микроциркуляторном. Учитывая, что микроциркуляторное русло одним из первых реагирует на изменения, происходящие в окружающей среде, и может быть маркером многих изменений, происходящих в сердечно-сосудистой системе, вызывает интерес изучение микрогемодинамики в различных регионах кожи при проведении ортостатического теста.

Материал и методы: Исследования микрогемодинамики кожи у здоровых обследуемых являлись частью программ комплексных экспериментов, проходящих на базе ГНЦ РФ – ИМБП РАН. Программы экспериментов были одобрены Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН (протокол №595 от 06.09.2021 г. и протокол №615 от 06.06.2022 г.) и соответствовали принципам биомедицинской этики, сформулированным в Хельсинской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях. Все обследуемые подписали добровольное информированное согласие. Пассивную ортостатическую пробу проводили с уча-

стием 20 женщин и 11 мужчин в возрасте 38 ± 4 лет и 29 ± 5 лет соответственно. После регистрации исследуемых параметров в положении лежа обследуемого на поворотном столе переводили в вертикальное положение головой вверх под углом 75° на 15 минут. В каждом тесте регистрировали параметры центральной гемодинамики осциллометрическим методом и показатели кожного кровотока методом ЛДФ. Непрерывную регистрацию параметров микрогемодинамики проводили в области кожи лба, предплечья и голени с использованием портативных лазерных анализаторов “ЛАЗМА ПФ” (ООО НПП “ЛАЗМА”). В случае возникновения предсинкопального состояния у обследуемого тест досрочно прекращали.

Результаты: Выявлено, что в области кожи лба реакция микрогемодинамики на вертикализацию и у мужчин, и у женщин была однонаправленной. При этом в области кожи голени в ответ на вертикализацию на фоне снижения базальной перфузии в среднем на 32 % у женщин и 34 % у мужчин, наблюдали различия в амплитудах колебаний, участвующих в регуляции микрососудистого тонуса. Кроме того, в случаях предсинкопальных состояний отмечали резкое снижение базальной перфузии в коже лба за 30 с до прекращения теста.

Заключение: Таким образом, было показано, что у мужчин и женщин наблюдается схожая реакция на ортостатическое воздействие в области кожи лба. При этом были отмечены половые особенности в реакции на вертикализацию в области нижних конечностей.

СИНИЙ ЛАЗЕР ПРИ РЕВИЗИОННОЙ ХИРУРГИИ ОКОЛОНОСОВЫХ ПАЗУХ

А.В. Пикуленко¹, М.В. Нерсисян^{1,2},

В.И. Попадюк¹, А.В. Меленчук¹

¹ Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва

² Центр хирургии головы и шеи Ильинской
больницы, д. Глухово, Московская обл.

Цель: Одной из самых частых причин рецидивов хронических (не полипозных) синуситов является образование синехий, приводящее к блоку соустья пазух и прогрессированию заболевания. У пациентов появляются жалобы на нарушение носового дыхания, скопление сухих корок в носу, частые воспалительные заболевания околоносовых пазух и верхних дыхательных путей.

Наличие синехий может приводить к неправильному направлению потока воздуха при вдохе и выдохе, что способствует угнетению мукоцилиарного клиренса, что, в свою очередь, приводит к рецидивам хронического синусита. В литературе есть сообщения о применении различных лазеров (CO_2 -лазер, диодный лазер, аргонный лазер, и др.) в хирургии полости носа. Эти операции очень травматичны. Синий лазер включает в себя преимущества CO_2 -лазера и КТР-лазера, однако обладает меньшей длиной волны и соответственно меньшей травматичностью по отношению к слизистой оболочке. Он применяется в ото- и ларингохирургии. В литературе нет сообщений об использовании TrueBlue лазера при ревизионной хирургии околоносовых, и в частности, верхнечелюстных пазух. Цель – описать наш опыт использования синего лазера в ревизионной хирургии околоносовых пазух, сопоставить с опубликованной литературой.

Материал и методы: Нами проведено пилотное исследование 8 пациентам (3 мужчин и 5 женщин) с рецидивом хронического (не полипозного) верхнечелюстного синусита после FESS, которым была проведена эндоскопическая ревизионная операция с использованием синего лазера WOLF-TruBlue (A.R.C. Laser GmbH, Германия) с длиной волны 445 нм. До и через 1 мес после операции было проведено обследование: эндоскопия полости носа, КТ придаточных пазух носа и анкетирование по опроснику SNOT-22.

Результаты: Все пациенты жаловались они на нарушение носового дыхания, стекание по задней стенке глотки и образование сухих корок в носу. При эндоскопии: у всех были синехии между латеральной стенкой носа и средней носовой раковиной; при КТ наблюдалось утолщение слизистой оболочки носа. Синехии были рассечены с помощью синего лазера, соустья расширены, патологическое содержимое из пазух удалено. Кровотечения на операциях не отмечено ни в одном случае. Реактивные изменения в носу после операции минимальны, боли и корок не было. Все отметили улучшение носового дыхания сразу после операции. Через месяц при эндоскопии синехии отсутствовали, толщина слизистой оболочки при КТ в верхнечелюстных пазухах уменьшилась, жалоб не было. У всех отмечено улучшение качества жизни.

Заключение: Преимущества использования синего лазера заключаются в минимальной травматичности и надежном гемостазе,

минимальных реактивных явлениях после операции, и в лучшем качестве жизни после операции. Наше исследование показало, что использование синего лазера при ревизионной хирургии околоносовых пазух является эффективным и безопасным методом на этапе расщепления синехий. Поэтому дальнейшие исследования в этом направлении представляются перспективными.

ОПТИМИЗАЦИЯ СПОСОБОВ ЛЕЧЕНИЯ ВРОЖДЕННЫХ ГИГАНТСКИХ ПИГМЕНТНЫХ НЕВУСОВ У ДЕТЕЙ РАЗЛИЧНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

С.А. Подурар¹, Н.Е. Горбатова¹, А.В. Брянецев¹,
А.С. Тертычный², Г.А. Варев³, С.М. Никифоров⁴,
Я.О. Симановский⁴, А.А. Сироткин⁴,
Г.П. Кузьмин⁴

¹ НИИ Неотложной детской хирургии и
травматологии ДЗ, Москва

² Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава
России, Москва

³ ООО "Русский инженерный клуб", Тула

⁴ Институт общей физики им. А.М. Прохорова
РАН, Москва

Цель: Врожденные гигантские пигментные невусы (ВГПН) – это редкое явление, которое встречается у одного новорожденного на 200–500 тыс. младенцев. Эти образования могут быть разных размеров и форм: от небольших (от 1,5 до 5,0 см²) до средних (от 5,0 до 50,0 см²) или больших и истинно гигантских (от 50,0 см²). Они могут вызывать разного рода дискомфорт у малышей из-за эстетических проблем. Существующие методы лечения не всегда действенны и могут привести к различным осложнениям: рецидиву (до 41,0 %), возникновению гипертрофических рубцов (до 6,0 %). Поэтому поиск радикального метода их удаления остаётся актуальным. Существует потребность в разработке современных способов удаления с помощью лазерных технологий. Некоторые ученые исследовали лазерное излучение (ЛИ) импульсно-периодического СО₂ лазера (λ) 10,6 мкм и "синее" ЛИ (λ) 0,45 мкм. Они показали специфику воздействия этих лазеров и необходимые условия для проведения операций по лечению ВГПН. Цель работы – улучшить результаты лечения путем удаления ВГПН различным ЛИ.

Материал и методы: Предварительно выполнены экспериментальные исследования *in*

vitro и *in vivo*, определены оптимальные параметры исследуемых длин волн для их применения в клинической части исследования. Послойную фотодеструкцию указанных пигментных образований проводили при помощи ЛИ 0,45 мкм на аппарате "Лазермед 10-03" (ООО "РИК", г. Тула) и ЛИ с длинной волны 10,6 мкм импульсно-периодического СО₂-лазера "АЛ-ДАН" (ИОФ РАН). Удаление ВГПН различных форм было проведено в НИИ НДХиТ 50 детям. Из них у 25 была малая форма, у 16 – средняя, а у 9 детей – истинно гигантская. Дети были разделены на три подгруппы в зависимости от возраста: 12 больных вошли в подгруппу от 6 до 8 лет, 20 – в подгруппу от 9 до 13 лет, и 19 – в подгруппу от 14 до 17. Локализация ВГПН была разнообразной: у 15 больных в области лица, у 8 – на грудной клетке, у 12 – на конечностях, у 7 пациентов – в области брюшной стенки и у 8 – в области спины.

Результаты: Результат лечения оценивался по критериям клинической и эстетической эффективности. У 41 ребенка окончательный хороший результат после удаления, у 9 пациентов с гигантскими ВГПН результаты удовлетворительные и хорошие. Плохих результатов не было.

Заключение: Оптимизированный "лазерный способ" удаления подтвердил свою радикальность при лечении ВГПН, определена перспектива его использования в практике детского хирурга.

МЕСТО ЛАЗЕРНОЙ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ДЕСТРУКЦИИ В ЛЕЧЕНИИ ДИСТРОФИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ВУЛЬВЫ

Е.В. Полухова, М.М. Умаханова, В.В. Ежов
Российский университет медицины
Минздрава России, Москва

Цель: Проблема лечения дистрофических заболеваний наружных половых органов, которое могло бы инициировать стойкую ремиссию, до сих пор не решена. Это обусловлено, прежде всего, недостаточной эффективностью существующих методов терапии, длительностью заболевания, тяжестью клинических проявлений, а также вероятностью злокачественной трансформации патологии вульвы. Поиск новых методов терапии продолжается.

Материал и методы: Нами предложена технология лечения дистрофических заболеваний

преддверья влагалища и вульвы методом управляемого ударно-волнового процесса деструкции патологических тканей с использованием лазерного излучения, слабо поглощаемого биотканями и с мощностью излучения, недостаточной для прямого деструктивного термического повреждения биотканей. Метод назван лазерная ударно-волновая деструкция вульвы – ЛУВД. В качестве источника лазерного излучения использовали полупроводниковый лазерный аппарат “Лазермед 10-01” (Россия) с параметрами: длина волны излучения 1,06 мкм, мощность излучения до 10 Вт. Режим излучения – одиночные импульсы длительностью 0,3–0,5 с. Для активации управляемого ударно-волнового процесса деструкции биотканей с минимальным её термическим повреждением использовали эффективно поглощающую лазерное излучение водную суспензию мелкодисперсных частиц активированного угля, наносимую тонким (до 0,3 мм) слоем на поверхность измененных тканей с помощью цитощетки.

Результаты: Быстрый разогрев лазерным излучением частиц активированного угля приводит к их разрушению в виде микровзрывов, сопровождаемых генерацией ударных волн, приводящих к механической деструкции окружающих биотканей. В процессе облучения фрагменты разрушенных частиц автоматически удаляются с поверхности биоткани и с этого момента воздействие излучения на ткань прекращается в силу её прозрачности на длине волны используемого лазерного излучения. Не обработанные зоны, при аналогичных параметрах лазерного воздействия практически не повреждаются. Подобный процесс деструкции способен обеспечить избирательное, дозированное по глубине и площади лечебное воздействие только на измененные участки, не затрагивая находящиеся рядом.

Гистологические исследования показали, что при ЛУВД поверхностная деструкция биоткани в основном обусловлена механическим воздействием, с минимальным термическим повреждением, что выгодно отличает ее от других энергетических методик, и вместе с тем, позволяет локально воздействовать на определенные врачом патологически измененные участки.

Заключение: Таким образом, полученные результаты, несомненно, требуют продолжения исследований в этом направлении для выяснения возможных механизмов наблюдаемого эффекта и позволяют надеяться на возмож-

ность внедрения метода ЛУВД для лечения больных с дистрофическими заболеваниями вульвы в клиническую практику.

ИЗМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗДОРОВОЙ КОЖИ И ПСОРИАТИЧЕСКОЙ БЛЯШКИ ПОСЛЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ

*И.А. Разницына, М.Е. Штыцфлюк,
Е.Д. Абалухова, А.В. Молочков
Московский областной научно-исследовательский клинический институт
им. М.Ф. Владимирского, Москва*

Цель: Оценка минимальной эритемной дозы (МЭД) – важный этап фототерапии, определяющий стартовую дозу ультрафиолетового (УФ) воздействия. Процедура оценки МЭД проводится однократно для здоровой кожи и занимает сутки. Разовые дозы УФ излучения могут корректироваться в процессе лечения исходя из уже имеющихся острых побочных реакций. МЭД в коже с биофизической точки зрения определяется ее оптическими свойствами, но на практике оценивается визуально. Поиск адекватной биофизической модели, описывающей фотоповреждения кожи, станет ключом к экспресс-оценке МЭД, в том числе в процессе фототерапии. В работе оптическими методами изучается влияние тестового облучения на характеристики кожи.

Материал и методы: В исследовании принимали участие 34 пациента 45±16 лет с диагнозом “распространенный вульгарный псориаз, стационарная стадия”. Для интактной кожи стандартно определялась МЭД. Оптическими методами, основанными на абсорбционной спектроскопии, измерялись: индекс меланиновой пигментации M_e , индекс уровня объемного капиллярного кровенаполнения V_b , коэффициент диффузного отражения r_λ на длинах волн $\lambda=310, 320$ и 337 нм. По результатам оптической когерентной томографии оценивалась толщина эпидермиса d . Измерения проводились до облучения и после однократного облучения с МЭД в интактной ткани и бляшке.

Результаты:

Результаты приведены в табл. 1.

Показатель M_e в интактной коже значимо превышал M_e в бляшке на протяжении всего эксперимента и не изменился спустя сутки

Таблица 1
Me [G1;G3] анализируемых показателей

	ДО _{инт}	ДО _{бляшка}	После _{инт}	После _{бляшка}
Me,	0,05	0,048	0,054	0,050
усл. ед.	[0,045;0,059]	[0,041;0,053]	[0,045;0,061]	[0,040;0,054]
V _b ,	0,10	0,13	0,14	0,15
усл. ед.	[0,07;0,11]	[0,12; 0,16]	[0,12;0,17]	[0,12;0,17]
d,	65	81	62	80
пиксел	[59;73]	[72;89]	[59;71]	[72;88]
г ₃₁₀ ,	0,020	0,028	0,022	0,029
усл. ед.	[0,004;0,024]	[0,010;0,045]	[0,007;0,026]	[0,017;0,055]
г ₃₂₀ ,	0,018	0,036	0,021	0,048
усл. ед.	[0,004;0,023]	[0,017;0,057]	[0,006;0,028]	[0,020;0,073]
г ₃₃₇ ,	0,019	0,035	0,020	0,051
усл. ед.	[0,007;0,024]	[0,015;0,066]	[0,009;0,034]	[0,018;0,080]

после облучения. Показатели V_b в бляшке были значимо выше, нежели в интактной коже до облучения, достоверно выросли после облучения и выравнивались в интактной и поврежденной коже. Изменений значений d, связанных с воздействием УФ излучения, обнаружено не было. Однако в бляшке данный показатель достоверно выше, чем в интактной области в среднем в 1,3 раза. Значения g_λ в бляшке для всех интересующих длин волн значимо превышали показатели для интактной области в течение всего эксперимента (p<0,05).

Заключение: Различия оптических показателей в интактной коже и бляшке, а также изменение характеристик кожи в ответ на УФ излучение обосновывают возможность уточненной объективной оценки МЭД в ходе лечения, в том числе для поврежденной кожи, что требует разработки соответствующих технических и методических решений.

СО₂ ЛАЗЕРНЫЙ АБЛАТИВНЫЙ ФРАКЦИОННЫЙ ФОТОТЕРМОЛИЗ В ЛЕЧЕНИИ ХРОНИЧЕСКОЙ АНАЛЬНОЙ ТРЕЩИНЫ

П.В. Родин¹, С.А. Коротков², О.С. Евтодий¹,
Е.Ю. Потемкина², Е.И. Харabet¹

¹ Медицинский центр "Эксперт", Москва

² АО "Медси", Москва

Цель: В настоящее время предложено много методов лечения хронической анальной трещины. При хронической анальной трещине рубцовый процесс, наряду со спазмом сфинктера, является одним из важнейших факторов, препятствующих успешному заживлению трещин. Устранение рубцового процесса в краях трещины создает условия для заживления и является оправданным воздействием.

Материал и методы: В 2024–2025 гг. по предложенной методике выполнено 38 операций у пациентов с хронической анальной трещиной. Длительность заболевания составляла от 3 мес до 3 лет. Все операции выполнялись под местной инфильтрационной анестезией и внутривенной седацией в плановом порядке в условиях дневного стационара.

Суть операции заключалась в воздействии на фиброзно-измененные ткани трещины лазерного излучения в режиме аблятивного фракционного фототермолиза с длиной волны 10600 нм на аппарате Л'Мед-1 (РИК, г. Тула, Россия). Воздействие луча происходит на микрофракции тканей, которые покрывают выбранную площадь с определенной частотой и заключается в создании несообщающихся микротермальных зон повреждения, окруженных зонами неповрежденной ткани. Сохранение таких зон сокращает время эпителизации и регенерации тканей.

Глубина фототермолиза регулируется количеством приложенной энергии и длительностью воздействия микролуча. В ультраимпульсном фракционном режиме аппарата, после предварительной разметки площади воздействия, длительности воздействия одного микролуча (0,34–0,38 мс), длительности паузы между воздействиями (0,34–0,38 мс), расстояния между зонами воздействия (0,1–0,2 мм), на выбранной площади выполнялся аблятивный фракционный фототермолиз, который позволял добиться вапоризации рубцово-измененных тканей трещины по плоскости. Управление лучом с заданными параметрами осуществлялось автоматически.

Результаты: Пациенты находились в условиях дневного стационара до 3 часов. Болевой синдром в течение первых суток наблюдения был выражен до 3 баллов ВАШ в момент первой дефекации, в дальнейшем не превышал 1 балла по ВАШ. Во всех наблюдениях осложнений в послеоперационном периоде не отмечалось. Сроки эпителизации раневой поверхности не превышали 28 дней. Пациенты наблюдались в сроки от 3 до 9 месяцев. Рецидив заболевания не выявлен.

Заключение: СО₂ лазерный аблятивный фракционный фототермолиз хронической анальной трещины на аппарате Л'Мед-1 (РИК, г. Тула, Россия) является безопасным, малоинвазивным, эффективным и перспективным методом, который может использоваться в амбулаторных условиях и имеет минимальные сроки реабилитации после выполненной процедуры.

ЛАЗЕРНОЕ АССИСТИРОВАНИЕ ПРИ ОПЕРАЦИИ ТРАНСПЛАНТАЦИИ СВОБОДНОГО ДЕСНЕВОГО ЛОСКУТА С НЕБА

*Н.В. Романенко, М.А. Вергун, Н.А. Благушина,
И.Ю. Лизунова, С.В. Тарасенко
Первый Московский государственный
медицинский университет им. И.М. Сеченова
Минздрава России, Москва*

Цель: В настоящее время для углубления свода преддверия полости рта и создания широкой зоны прикрепленной кератинизированной слизистой оболочки проводится операция вестибулопластики (ОВ) с использованием свободного десневого трансплантата (СДТ) с неба. Первых два этапа данного хирургического вмешательства характеризуются выраженным кровотечением. Актуальным представляется поиск универсального инструмента альтерации слизистой оболочки полости рта (СОПР) для предупреждения кровопотери у пациентов, имеющих показания к восстановлению утраченного объема мягких тканей в области зубов и дентальных имплантатов. Лазерное излучение (ЛИ) с длиной волны 445 нм поглощается гемоглобином в большей степени, чем с длиной волны инфракрасного диапазона света, что является предпочтительным при таких манипуляциях как формирование реципиентного ложа для свободного десневого трансплантата при ОВ и остановка кровотечения из донорской зоны в области твердого неба. Цель исследования – изучение эффективности применения ЛИ с длиной волны 445 нм при ОВ с использованием СДТ с неба.

Материал и методы: ОВ по методике Irving Glickman проведена у 30 пациентов в возрасте от 22 до 65 лет. Препарирование слизистой оболочки преддверия полости рта для формирования расщепленного лоскута выполняли ЛИ с длиной волны 445 нм неиницированным волокном бесконтактным способом при мощности 0,7 Вт и импульсном режиме. Расстояние от кончика световода до поверхности СОПР составляло 0,5–1 мм. Апикально смещенный лоскут фиксировали к надкостнице непрерывным швом нитью из полипропилена толщиной 5–0 (Патент RU 2812751 C1). На раневую поверхность, представленную надкостницей, фиксировали СДТ с неба с применением нити из полипропилена толщиной 6–0. В 100 % случаях необходимым предоставлялось проведение гемостаза в области донорской зоны твердого неба. Остановку кровотечения

осуществляли с помощью воздействия на поверхность операционной раны ЛИ бесконтактным способом динамической методикой неиницированным волокном с дистанцией от кончика световода до раневой поверхности в 4,5–5 мм при мощности 1 Вт и постоянном режиме.

Результаты: Время, необходимое для формирования реципиентного ложа для СДТ, сократилось за счет отсутствия необходимости в гемостазе. Бескровные операционные условия позволили избежать осложнений, связанных с травмой анатомически значимых образований. При заборе СДТ в области твердого неба формировалась раневая поверхность площадью $251,3 \pm 6,8$ мм² [232; 266]. Время полной остановки кровотечения в области донорской зоны твердого неба составляло 156 ± 4 с [150; 163]. По окончании операции рану на небной поверхности верхней челюсти изолировали пародонтальной повязкой СОЕ РАК (GC, Япония) сроком на 7 суток. Фактов формирования инфекционных воспалительных осложнений и кровотечения из донорской зоны в области твердого неба в послеоперационный период зарегистрировано не было.

Заключение: Применение ЛИ с длиной волны 445 нм при ОВ с использованием СДТ с неба позволяет предупредить кровопотерю и осложнения, характерные для операций данного вида с применением традиционных методов расщепления тканей.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 445 НМ В КЛИНИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

*Н.В. Романенко, Н.Б. Серезникова,
Н.М. Шоркин, С.В. Тарасенко
Первый Московский государственный
медицинский университет им. И.М. Сеченова
Минздрава России, Москва*

Цель: В мировой клинической практике производителями медицинского оборудования представлена инновационная лазерная технология, предполагающая препарирование мягких тканей бесконтактным способом. Лазерное излучение (ЛИ) с длиной волны 445 нм генерируется диодным полупроводником и соответствует синему цвету видимого спектра света. Представляется актуальным научное обоснование эффективности применения ЛИ длиной волны 445 нм

в качестве инструмента альтерации в хирургической стоматологической практике. Целью исследования явилось изучение морфологических изменений интактной слизистой оболочки полости рта (СОПР) при воздействии ЛИ с длиной волны 445 нм в абляционном режиме.

Материал и методы: Изучение динамики репаративной регенерации раны СОПР, сформированной ЛИ длиной волны 445 нм, проведено в экспериментальном исследовании на примере операции френулопластики нижней губы. Объектом изучения послужили 48 половозрелых лабораторных крыс мужского пола линии Wistar массой 180–250 граммов. Препарирование слизистой оболочки преддверия полости рта проводили с применением луча лазера бесконтактным способом при мощности ЛИ 0,7 Вт при непрерывном режиме (CW) и неиницированным волокном. Первый забор биоптата СОПР в области послеоперационной раны для гистологического исследования был выполнен через 25 минут после окончания хирургической манипуляции у 12 случайным образом выбранных особей. Затем биопсия была проведена через 48 часов после операции, а также на 7-е и 14-е сутки послеоперационного периода.

Результаты: Через 25 минут после окончания хирургического вмешательства в 100 % случаях наблюдения в биоптатах выявлена относительно большая зона коагуляционного некроза с эпителием, очертания которого более четко видны при фазово-контрастной микроскопии, и подлежащей соединительной ткани, которая была уплотнена, а большинство клеток в ней было разрушено. Через 48 часов в большинстве образцов (83,3 %) встречались крупные участки некроза соединительной и мышечной тканей, вокруг которых отмечали обширный отек и нейтрофильную воспалительную реакцию. На 7-е сутки в 11 (91,7 %) лабораторных образцах отмечали признаки активного процесса регенерации раны. В отдельных случаях область коагуляционного некроза была частично организована соединительной тканью. На 14-е сутки во всех гистологических образцах некротические массы отсутствовали полностью. В области ранее выявленных участков некроза сформирована фиброзно-рубцовая ткань, богатая кровеносными сосудами и состоящая из пучков коллагеновых волокон и клеток фибробластов.

Заключение: Полученные результаты демонстрируют коагуляционный тип некроза в зоне абляции тканей и отсутствие выраженности II фазы воспалительной реакции – стадии экссуда-

ции, что обуславливает тенденцию к уменьшению длительности периода эпителизации и сокращению общих сроков репаративной регенерации раны СОПР. Данные факты могут быть интерпретированы как позитивные признаки высокого потенциала восстановления тканей, препарированных ЛИ, так и признаки, указывающие на снижение риска возникновения кровотечения и инфекционных воспалительных осложнений в послеоперационный период.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РУБЦОВОЙ ТКАНИ ПРИ ФРАКЦИОННОЙ CO₂ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ ОБШИРНЫХ ПОСЛЕОЖГОВЫХ РУБЦОВ У ДЕТЕЙ

А.Н. Рошупкина^{1,2}, О.С. Бычкова^{1,2},

С.М. Батаев^{1,2,3}, И.В. Зябкин^{1,2},

О.В. Щербакова¹, Э.И. Алиева^{1,3}, М.В. Цаца¹,

М.С. Голубев^{1,2}, Т.С. Полевикова^{1,2}

¹ Федеральный научно-клинический центр
детей и подростков ФМБА России, Москва

² Российский национальный исследовательский
медицинский университет им. Н.И. Пирогова
Минздрава России, Москва

³ Медико-биологический университет
инноваций и непрерывного образования ФМБЦ
им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

Цель: оценить эффективность фракционной CO₂-лазерной абляции у пациентов с постожоговыми рубцами.

Материал и методы: Проведено гистологическое исследование с забором материала у пациентов с обширными постожоговыми рубцами в области лица и шеи спустя 20 часов после глубокой фракционной CO₂-лазерной абляции, окрашен гематоксилином и эозином, увеличение ×300. Видна точка входа лазерного излучения в рубцовую ткань, зона деструкции диаметром 100–150 мкм, по периферии канала деструкции участок термического повреждения толщиной 30–50 микрон, в просвете канала деструкции лизированные эритроциты и тромбоциты. В зоне, прилежащей к области разрушения, единичные сегментоядерные лейкоциты и фибробласты. Состояние рубцовой ткани после фракционной CO₂-лазерной абляции на 4-е сутки характеризуется полной эпителизацией каналов деструкции, по периферии каналов – зона с гомогенной деструкцией коллагеновых волокон, с перифокальной пролифе-

рацией фибробластов и единичными сегментодермальными лейкоцитами, и лимфоцитами. Обращает на себя внимание отсутствие выраженного воспаления как одного из факторов избыточного синтеза грубой волокнистой соединительной ткани. Что, по нашему мнению, объясняет не усиление рубцового процесса, а перестройку рубцовой ткани по типу нормальной регенерации, происходящей в коже в естественных условиях. Изучая серии гистологических препаратов, мы обнаружили, что морфологическая перестройка рубцовой ткани к состоянию, схожему по строению с неповрежденной кожей, коррелирует с положительным клиническим и эстетическим результатом. При анализе морфологической картины пациента, получившего 2 сеанса фракционной CO_2 -лазерной абляции с интервалом 6 месяцев, и контрольного нелеченного участка рубцовой ткани этого же пациента обнаружено, что на участке, подвергнувшись лечению, стратификация эпидермиса сохранена, эпидермальные гребешки несколько удлинены, фиброз сосочкового слоя дермы не выражен. Клинически изменения, произошедшие с зоной послеожогового рубца после 2-х фракционных CO_2 -лазерных абляций, характеризуются сглаживанием поверхности рубца, выравниванием тона кожи, уменьшением пигментации, исчезновением избытка кожного лоскута и уменьшением толщины рубцовой ткани. При УЗИ рубцовой ткани в динамике отмечено уменьшение ее толщины на 30 % (с 3 до 2 мм). Нами было отмечено: чем толще и грубее рубцовая ткань до лечения, тем более выраженный положительный клинический результат мы получали после фракционной CO_2 -лазерной абляции.

Результаты: В ходе масштабного исследования гистологических препаратов рубцовой ткани до и после фракционной CO_2 -лазерной абляции в течение последующих 6 месяцев отмечается изменение строения рубцовой ткани, характеризующееся уменьшением количества грубого коллагена 1 типа беспорядочного расположения, а спустя 6 месяцев после фракционной CO_2 -лазерной абляции – преобладание структурно организованного более тонкого коллагена 3 типа. Также отмечается появление островков скопления клеточных элементов, которые в неповрежденной коже формируют придатки кожи. Согласно данным иммуногистохимических исследований, после фракционного CO_2 -лазерного воздействия на фоне фототер-

мического повреждения рубцовой ткани увеличивается продукция белков теплового шока. С одной стороны, они обеспечивают клетке нечувствительность к дальнейшему нагреванию и повреждению, а с другой – принимают участие в утилизации частично или полностью поврежденных белков. Помимо этого они обеспечивают правильную сборку сложных белков, формирующих соединительную ткань. Параллельно за счет выброса факторов роста стимулируется миграция клеток воспаления в зону деструкции с развитием умеренной воспалительной реакции, запускающей процессы регенерации и синтеза нового коллагена.

Заключение: Основным патогенетическим фактором, способствующим уменьшению и ремоделированию рубцовой ткани, является преобладание металлопротеиназы-1 – фермента разрушающего коллагеновые волокна, с одновременным снижением влияния тканевого ингибитора данного фермента. И, как результат, в процессе регенерации в данном случае преобладают процессы разрушения грубых коллагеновых волокон над его синтезом.

ФОТОДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕРАПИЯ В ЛЕЧЕНИИ РАКА КОЖИ КРИТИЧЕСКИХ АНАТОМИЧЕСКИХ ЛОКАЛИЗАЦИЙ

М.В. Рябов, Е.Ф. Странадо

*Научно-практический центр лазерной
медицины им. О.К. Скобелкина ФМБА России,
Москва*

Цель: Рак кожи является самым распространенным злокачественным новообразованием в России, на данную локализацию приходится 12,5 % общей онкологической заболеваемости. До 80–90 % злокачественных опухолей кожи локализуются на голове, в первую очередь на коже лица в так называемых критических локализациях: кожа носа, периорбитальной области, век, ушной раковины. Основными трудностями при традиционном лечении опухолей критических локализаций является опасность развития косметических и функциональных нарушений. Существует вероятность возникновения инфекционных осложнений, кровотечения, грубых рубцов, развития атрофии и некроза мягких тканей и хрящей, а при лечении опухолей периорбитальной зоны – облитерации носослезного канала и развития катаракты.

ФДТ – это метод, который характеризуется высокой эффективностью, низкой частотой развития рецидивов и отличными косметическими результатами. Главный недостаток фотосенсибилизаторов первого поколения – длительный период повышенной светочувствительности – не свойственен производным хлорина е6 (фотодитазин, радахлорин, фотолон), которые обладают высокой фотодинамической активностью и полностью выводятся из организма человека в течение 1–2 суток.

Целью исследования является разработка методики ФДТ рака кожи критических анатомических локализаций.

Материал и методы: Лечение методом ФДТ с препаратами ряда хлорина проведено 98 больным. Возраст пациентов составлял от 28 до 90 лет. Опухолевые очаги располагались в периорбитальной зоне у 30 больных, у 61 – на коже носа, у 9 – на коже ушных раковин, у 5 – на коже века. Первичный рак имел место у 70 больных, у 28 больных опухоли были рецидивными. У значительной части больных имели место сопутствующие соматические заболевания. Лечение методом ФДТ проводилось всем больным в амбулаторном режиме.

Доза фотосенсибилизатора (фотодитазин, радахлорин) составляла 0,6–0,8 мг/кг массы тела больного. Временной интервал между введением фотосенсибилизатора и началом светового воздействия составлял 2,5–3 часа. Для проведения ФДТ применялись полупроводниковые лазерные аппараты с выходной мощностью до 2,5 Вт при длине волны 662 нм. Опухоли подвергали однократному световому воздействию. Анестезия при проведении сеансов облучения не применялась. Доза световой энергии составляла 250–350 Дж/см². Время лазерного воздействия в зависимости от типа и размера опухоли, формы поля облучения, количества очагов составляло 10–40 минут.

Результаты: В результате лечения терапевтический эффект констатирован у всех пациентов. У 95 больных достигнута полная резорбция опухолевых очагов (96,9 %). У 3 больных достигнута частичная резорбция опухоли. Проведение ФДТ не сопровождалось развитием системных осложнений, не отмечено развития кровотечения или септических осложнений. Эпителизация дефекта происходила через 3–5 недель после ФДТ в зависимости от первоначальных размеров опухоли.

Получены отличные косметические и функциональные результаты лечения. Малоза-

метные рубцы после ФДТ почти не отличаются по цвету от окружающей здоровой кожи. Не отмечено развития гипертрофических рубцов и келоидов, грубых деформаций, функциональных нарушений, таких как несмыкание век, облитерация слезного канала, а также осложнений со стороны роговицы.

Заключение: Фотодинамическая терапия является эффективным, безопасным методом лечения рака кожи критических анатомических локализаций. Терапевтическая эффективность метода составляет 100 %, причем у 96 % больных достигнута полная резорбция опухоли. Данный метод может применяться амбулаторно у больных с тяжелой сопутствующей патологией. Косметические и функциональные результаты ФДТ превосходят результаты традиционных методов лечения рака. Применение фотосенсибилизаторов ряда хлорина позволяет избежать длительной кожной светочувствительности.

ЭВОЛЮЦИЯ ТРАНСКУТАННЫХ СОСУДИСТЫХ ЛАЗЕРОВ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ СОСУДИСТОЙ ПАТОЛОГИИ КОЖИ

Д.А. Сафин^{1,2}, Н.И. Артемов¹, А.Г. Нарбуттов²,
Ю.А. Поляев²

¹ ООО “Профессиональный медицинский центр”, Москва

² Российская детская клиническая больница, Москва

Цель: Развитие лазерных технологий не стоит на месте, несмотря на относительно недавнее появление – чуть более 20 лет назад – уже произошли заметные изменения в технологии. Такая эволюция вызвана рядом факторов: коммерческий интерес (захват новых ниш для конкретного аппарата, оптимизация производства), внедрение новых научных и технологических решений, что в итоге сказывается на эффективности работы лазерных аппаратов. Для клинициста такие изменения не всегда очевидны и понятны, поэтому целью настоящей работы является осмысление технологических изменений в эволюции лазерных сосудистых транскутанных лазерах и открытие новых возможностей, благодаря развитию лазерной техники.

Материал и методы: При сравнении лазерных аппаратов некорректно использовать такие понятия как “мощность”, “безопасность” – так как лазерные медицинские аппараты без-

опасны и эффективны, что доказано многочисленными исследованиями (хотя безусловно эти критерии очень важны). С определенными оговорками необходимо относиться к расположению генерируемого лазерным излучением пика поглощения гемоглобином, что особенно касается излучения, расположенного в желто-зеленом спектральном диапазоне (в целом эффективность излучения в близи пика “зеленого” и “желтого” сопоставима и нет явного преимущества ни у одного из них). Пользуясь аналогией с условным разделением реактивных истребителей по поколениям, в основу которого положены определенные критерии, можно разделить транскутанные сосудистые лазерные аппараты на 3 поколения. Сравнимые критерии: особенности лазерного излучения, универсальность, система охлаждения, надежность. Учитывая эти критерии, можно разделить современные сосудистые транскутанные лазерные аппараты на 1, 2, 2+ и 3-е поколение.

Заключение: Приведенное деление транскутанных сосудистых лазерных медицинских аппаратов для лечения сосудистых образований кожи является условным. Конечно, нельзя отрицать технологическое преимущество последних поколений, однако деление по поколениям не может выявить лидеров и аутсайдеров, так как технологии дают возможность использования данного метода, но как его применять – решает оператор, исходя из своих знаний и опыта.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ДИОДНОГО ЛАЗЕРА С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 970 НМ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ С ВОСПАЛИТЕЛЬНЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ ПОЛОСТИ РТА

А.В. Селунина¹, Е.А. Морозова²

¹ Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова
Минздрава России, Москва

² Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва

Цель: Повышение эффективности лечения пациентов с одонтогенной гнойно-воспалительной инфекцией полости рта с помощью излучения диодного лазера.

Материал и методы: Нами обследовано и пролечено 80 пациентов в возрасте от 21 до 65 лет с острым гнойным периоститом верхней и нижней челюстей и позадиомолярным абсцес-

сом. В работе использовали диодный лазер “ИРЭ-Полус” отечественного производства с длиной волны 970 нм. Все пациенты были разделены на 2 группы: в 1 группе вскрытие гнойного очага проводили лазерным излучением мощностью 2,4 Вт; во 2 группе – скальпелем №15С. Эффективность лечения оценивали по данным клинических и микробиологических методов исследования.

Результаты: По результатам клинического исследования в послеоперационном периоде при использовании лазера у пациентов с острым гнойным периоститом челюстей боль была незначительная на протяжении $3,0 \pm 0,5$ суток, а при традиционном методе лечения – в течение $4,0 \pm 0,5$ суток, что требовало приема обезболивающих препаратов. При традиционном методе лечения у пациентов коллатеральный отек мягких тканей сохранялся в течение $5,0 \pm 0,5$ суток, при использовании диодного лазера – в течение $3,0 \pm 0,5$ суток. У пациентов 1 группы при использовании лазера отмечено более раннее прекращение гнойной экссудации и более ранняя эпителизация ран по сравнению со 2 группой. По данным микробиологического исследования, применение лазерного излучения оказало выраженное антибактериальное действие, в области операционного поля наблюдали статистически значимое снижение микробной обсемененности представителями вирулентной и резидентной флоры как на 3-и сутки, так и на 5-е сутки наблюдения. Общая микробная обсемененность на 3-и послеоперационные сутки снизилась до уровня 3,4 [3,0; 4,3] КОЕ/мл, а на 5-е сутки составила 2,8 [2,4; 3,4] КОЕ/мл. У пациентов при традиционном лечении на 3-и сутки после операции наблюдали значительно менее выраженное снижение общей микробной обсемененности с 6,2 [6,0; 6,8] КОЕ/мл до 5,6 [4,9; 6,0] КОЕ/мл, на 5-е сутки отмечено снижение общей обсемененности лишь до 4,0 [3,7; 4,4] КОЕ/мл.

Заключение: Таким образом, применение излучения диодного лазера “ИРЭ-Полус” с длиной волны 970 нм в комплексном лечении пациентов с одонтогенными гнойно-воспалительными заболеваниями полости рта повышает эффективность хирургического лечения, так как оказывает более выраженный бактерицидный эффект по сравнению с традиционной методикой, способствует более быстрому купированию воспалительного процесса, эффективному очищению раны, сокращению сроков эпителизации раны.

ЛАЗЕРНАЯ ЭНУКЛЕАЦИЯ ОПУХОЛЕЙ МОЧЕВОГО ПУЗЫРЯ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

Д.В. Смирнова¹, Р.Н. Симанов^{1,2}, П.И. Ковчур^{1,3}

¹ Петрозаводский государственный
университет, Петрозаводск

² Республиканская больница им. В.А. Баранова,
Петрозаводск

³ Республиканский онкологический диспансер,
Петрозаводск

Цель: Современная урология характеризуется активным внедрением лазерных технологий. Первое успешное использование неодимового лазера при разрушении опухоли мочевого пузыря у человека описал G. Staehler в 1978 г., что в дальнейшем привело к разработке эффективных лазерных технологий в урологической практике. Основным методом лечения немышечно-инвазивного рака мочевого пузыря является трансуретральная резекция (ТУР) стенки мочевого пузыря с опухолью с использованием моно-, биполярной энергии. Целью работы стал сравнительный анализ эффективности и безопасности ТУР и лазерной энуклеации опухолей мочевого пузыря (ЛЭОМП).

Материал и методы: В исследование вошли 53 пациента со средним возрастом $62,2 \pm 13,2$ лет (мужчины – 77,4 %, женщины – 22,6 %). ТУР была выполнена у 19 пациентов, ЛЭОМП – у 34 пациентов. Для лазерной резекции применен тулиевый волоконный лазер – “УРОЛАЗ” (NTO IRE-Polus, Россия) с параметрами: длина волны – 1,94 мкм, мощность – 120 Вт, энергия импульса – 1,0 Дж, частота – 10 Гц. Оценивались показатели: продолжительность госпитализации, длительность операции, время послеоперационной гематурии и катетеризации, возможность проведения послеоперационной внутрипузырной инстилляции доксорубицина. Критерием получения качественного гистологического материала являлось наличие волокон детрузора при гистологическом исследовании.

Результаты: Средняя продолжительность операции составила $35,1 \pm 20,0$ минуты для группы ТУР и $34,6 \pm 18,4$ минуты для группы лазерной энуклеации без статистически значимых различий между группами ($p=0,911$). Средняя продолжительность госпитализации составила $12,3 \pm 7,5$ суток: $13,2 \pm 7,4$ суток в группе ТУР и $11,8 \pm 7,6$ суток в группе лазерной энуклеации, статистически данное различие незначимо ($p=0,373$). Послеоперационный период составил

в среднем $6,0 \pm 5,2$ суток, без значимых различий между группами ($p=0,528$). Послеоперационная катетеризация продолжалась $2,9 \pm 1,9$ суток (ТУР – $3,0 \pm 1,9$ суток, лазерная энуклеация – $2,9 \pm 2,1$ суток, $p=0,731$). Гематурия наблюдалась в течение $2,4 \pm 1,3$ суток, без существенных различий ($p=0,815$). Внутрипузырная химиотерапия доксорубицином проведена 5,3 % пациентам после ТУР и 47,1 % пациентам после лазерной энуклеации, что является статистически значимым различием ($p=0,002$). Наличие мышечного слоя в гистологическом материале отмечено у 60,0 % пациентов после ТУР и у 70,8 % после лазерной энуклеации без статистической значимости в выборке ($p=0,546$).

Заключение: Использование лазерной энуклеации опухолей мочевого пузыря с применением отечественного тулиевого волоконного лазера является безопасным и эффективным методом. Лазерная энуклеация опухоли мочевого пузыря единым блоком улучшает гемостаз, снижает повреждение тканей, облегчает достижение чистого края резекции и обеспечивает качественный материал для исследования, а также повышает возможности для проведения внутрипузырной химиотерапии сразу после операции.

СРАВНЕНИЕ ПОСЛЕОПЕРАЦИОННЫХ ОСЛОЖНЕНИЙ ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ ДЕСТРУКЦИИ ГЕМОРРОИДАЛЬНЫХ УЗЛОВ ПРИ МОЩНОСТИ 8, 9, 10 ВТ

Д.М. Созонов^{1,2}, А.А. Засорин^{1,2}

¹ Уральский государственный медицинский
университет, Екатеринбург

² ЧУЗ КБ “РЖД Медицина”, Екатеринбург

Цель: Геморроидальная болезнь является наиболее распространённой патологией в практике врача колопроктолога. Геморроидэктомия является радикальным методом лечения данной патологии, однако она сопряжена с рядом проблем. Методика лазерной деструкции геморроидальных узлов имеет ряд преимуществ по сравнению с эксцизионным вмешательством.

Материал и методы: В период с января 2021 г. по декабрь 2024 г. на базе нашей клиники было прооперировано 105 пациентов по методике лазерной геморроидопластики с использованием аппарата “ИРЭ-Полус”. 35 пациентам процедура проведена при мощности 8 Вт, 35 пациентам – при

мощности 9 Вт и 35 пациентам – при мощности 10 Вт.

В раннем послеоперационном периоде мы столкнулись со следующими осложнениями: рефлекторная задержка мочи, перианальный венозный тромбоз, кровотечение.

Результаты: В первой группе (8 Вт) наблюдался один случай задержки мочи (0,95 %). Во второй группе столкнулись с одним эпизодом задержки мочи (0,95 %), одним кровотечением из зоны операции (0,95 %), и одним случаем перианального венозного тромбоза. В третьей группе (10 Вт) были схожее количество осложнений, что и во 2-ой группе – один эпизод задержки мочи, один случай кровотечения, но было 2 случая перианального венозного тромбоза (1,9 %). Всего наблюдалось 3 случая задержки мочи (2,9 %), 2 случая кровотечения (1,9 %), и 3 случая перианального венозного тромбоза (2,9 %). Общее количество осложнений 8 (7,6 %). Согласно классификации Clavien–Dindo, описанные осложнения соответствуют I и II классу и не требуют оперативной коррекции.

Заключение: Таким образом, наблюдается тенденция к увеличению общего числа осложнений с увеличением мощности энергии лазерного излучения, воздействующего на ткань геморроидальных узлов. Различия между первой группой и остальными являются статистически значимыми ($p < 0,05$), что подтверждает влияние длительности терапии на риск возникновения осложнений.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ И АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ В ЛЕЧЕНИИ ВЕНОЗНЫХ ТРОФИЧЕСКИХ ЯЗВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ *IN VIVO*

Н.О. Сомов, Б.В. Болдин, В.Ю. Богачев

Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова
Минздрава России, Москва

Цель: Оценить эффективность фотодинамической терапии (ФДТ) и АФДТ в комплексном лечении венозных трофических язв (ВТЯ) в эксперименте *in vivo* и сравнить их со стандартными методиками лечения ВТЯ.

Материал и методы: Серия экспериментов была проведена на 21 кролике, разделенных на 3 равные группы. Всем лабораторным животным изначально моделировали венозную трофиче-

скую язву. Для получения ВТЯ производили дополнительную перевязку *v. femoralis*. Контрольная группа получала стандартную терапию ВТЯ. В группе ФДТ проводилась фотодинамическая терапия с использованием фотосенсибилизатора (ФС) Фотосенс. В группе АФДТ проводилась фотодинамическая терапия с использованием ФС Холосенс. Каждые 3 дня определяли картину местного воспаления, скорость регенерации язвенного дефекта и площадь язвы. Морфологическое исследование ВТЯ проводили на первые, 9-е и 15-е сутки. ФДТ и АФДТ венозных трофических язв проводились с помощью лазера “ЛФТ-02-Биоспек”. Длина волны составила 676 нм. Плотность мощности равнялась 1,0 Вт/см², плотность энергии за сеанс составляла 25–30 Дж/см². Время проведения лазерного воздействия колебалось от 5 до 10 минут. При этом удельная доза всего лазерного облучения составляла 150–200 Дж/см².

Результаты: Контрольная группа (на 9-е сутки): дно трофической язвы заполнено вялыми грануляциями, отмечалась выраженная гиперемия и отек. Группа ФДТ: дно трофической язвы заполнено яркими грануляциями, площадь раны уменьшилась в среднем на 25 %. Группа АФДТ: дно трофической язвы также выполнено яркими грануляциями. Площадь раны уменьшилась в среднем на 32 %. Контрольная группа (на 21-е сутки): дно трофической язвы заполнено грануляциями, отмечалась гиперемия и отек вокруг язвы. Группа ФДТ (на 21-е сутки): 100 % эпителизация раны, нормотрофический рубец. Группа АФДТ (на 21-е сутки): 100 % эпителизация раны, нормотрофический рубец. Морфологическое исследование также указало на положительную динамику в группе АФДТ по сравнению с группами ФДТ и контрольной группой, что выразилось в уменьшении общей массы некротического детрита, скорости очищения трофической язвы, изменении количественного и качественного состава воспалительного инфильтрата, уменьшении отека дермы, увеличении скорости созревания грануляционной ткани.

Заключение: Полученные данные свидетельствуют об эффективности использования АФДТ в лечении ВТЯ. Применение АФДТ рекомендуется в случае неэффективности антибиотикотерапии, резистентности микроорганизмов к антибактериальным препаратам а также их индивидуальной непереносимости. Эффект АФДТ превосходит аналогичный результат использования изолированной ФДТ. При этом применение ФДТ в

лечении ВТЯ имеет лучшие показатели по сравнению со стандартной терапией ВТЯ.

ФОТОДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕРАПИЯ РАКА НЕКОТОРЫХ ОРГАНОВ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА

Е.Ф. Странадко¹, В.Л. Шабаров², М.В. Рябов¹,
В.А. Морохотов²

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

² Московский областной научно-
исследовательский клинический институт
им. М.Ф. Владимирского, Москва

Фотодинамическая терапия (ФДТ) рака различных стадий и локализаций применяется в России уже 33 года. В настоящее время наиболее популярным фотосенсибилизатором, “рабочей лошадкой” ФДТ является фотосенсибилизатор 2-го поколения из группы хлориновых производных – фотодитазин. Целью данного исследования было изучение возможности применения, эффективности и безопасности ФДТ некоторых наиболее агрессивных локализаций рака органов желудочно-кишечного тракта.

Мы применили ФДТ у 69 неоперабельных больных раком пищевода. При распространенном раке, обтурирующем просвет пищевода, у всех больных применение ФДТ позволило добиться паллиативного эффекта: улучшения проходимости пищи по пищеводу, улучшения качества и увеличения продолжительности жизни до 2–3 лет. Ремиссия до 6–7 месяцев достигнута за счет сосудистого механизма действия ФДТ, нарушающей кровоснабжение остаточной опухоли на длительный период времени [1]. При раке пищевода 1–2 ст., неоперабельных по сопутствующим заболеваниям, у 2 больных достигнута полная резорбция опухоли с длительностью безрецидивного периода более 1 года и продолжительностью жизни более 3,5 лет. У 4 больных с рецидивом дисфагии после реканализации YAG-Ne лазером ФДТ приводила к более длительной ремиссии (6–7 мес против 3–4 мес). Паллиативный эффект улучшения прохождения пищи получен у 3 больных с рецидивом рака в пищеводно-кишечном и пищеводно-желудочном анастомозе с переходом на нижнегрудной отдел пищевода [2].

Другим важным направлением применения ФДТ считаем внутрипротоковую ФДТ у больных раком большого сосочка 12-перстной

кишки (БСДК) и внепеченочных желчных протоков (ВЖП). Под нашим наблюдением находилось 79 больных раком БСДК и ВЖП. Оценивали эффективность и безопасность метода ФДТ. Наряду с оценкой эффективности ФДТ по критерию улучшения качества и продолжительности жизни больных, проводилась оценка эффективности ФДТ в зависимости от кратности курсов. Для этого 15 больным в течение 12 месяцев выполнен 1 курс ФДТ, а 14 пациентам проведено 2 и более курсов ФДТ в течение года. В общей сложности 29 больным проведено 52 курса ФДТ. Контролем служила группа больных с желчеотводящими вмешательствами без ФДТ ($n=50$).

Результаты: В группе пациентов, где применялась ФДТ рака ВЖП и БСДК, медиана дожития по Каплан–Мейеру составила 18 мес [95 % ДИ: 15,9; 20,1]. В группе контроля без ФДТ – только 7 мес [95 % ДИ: 5,1; 8,9]. Различия между группами были статистически значимы (log rank и Breslow $p<0,0001$). В группе пациентов, которым в течение года выполнен 1 курс ФДТ, медиана дожития составила 12,5 мес [95 % ДИ: 10; 15], а среди больных, которым с интервалом 4–6 мес выполнено 2–3 курса ФДТ в течение года, она достигала 15–60 мес, в среднем – 29 мес [95 % ДИ: 18; 28]. Различия между группами статистически значимы (log rank $p=0,002$, Breslow $p=0,002$) [3]. Выводы. Фотодинамическая терапия в комбинации с желчеотводящими операциями является эффективным методом лечения неоперабельных больных раком ВЖП и БСДК. Проведение повторных курсов ФДТ с интервалом 4–6 мес. достоверно увеличивает продолжительность жизни неоперабельных больных раком ВЖП и БСДК.

Заключение: ФДТ принципиально меняет статус большой группы неоперабельных больных с различными локализациями рака органов желудочно-кишечного тракта, улучшая качество и продолжительность жизни пациентов этой тяжелой категории.

1. Дуванский В.А., Князев М.В., Праведников П.В. Современные аспекты фотодинамической терапии заболеваний пищевода. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2011. № 10. С. 111–116.
2. Странадко Е.Ф., Шабаров В.Л., Рябов М.В. Эндоскопическая фотодинамическая реканализация обтурирующего рака пищевода Медицинская физика. 2022. № 1 (93). С. 70–72.
3. Странадко Е.Ф., Баранов А.В., Дуванский В.А., Лобаков А.И., Морохотов В.А., Рябов М.В. Новый подход к лечению рака большого сосочка двенадцатиперстной кишки и внутрипеченочных желчных протоков методом фотодинамической терапии Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2022. № 5 (201). С. 78–85.

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДОСТИЖЕНИИ НАДЛЕЖАЩЕГО КАЧЕСТВА МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ БОЛЬНЫМ ГЕМОРРОЕМ

Д.А. Творогов^{1,2}, Л.Г. Дваладзе¹, В.П. Акимов²,
К.Н. Мовчан², М.В. Добрун¹

¹ СЗОНКЦ им. Л.Г. Соколова ФМБА России,
Санкт-Петербург

² СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России,
Санкт-Петербург

Цель: Изучить эффективность применения лазерной технологии геморроидэктомии (LHP) и гибридной геморроидэктомии (LHP + геморроидэктомия), как метода достижения надлежащего качества предоставления медицинской помощи больным при лечении геморроя 3-ей стадии.

Материал и методы: Проанализированы результаты лечения 358 пациентов ФГБУ СЗОНКЦ им. Л.Г. Соколова ФМБА России в 2018–2024 гг. с диагнозом хронического комбинированного геморроя 3-ей стадии. Пациенты распределены на 2 группы в зависимости от способа хирургического лечения геморроя. Пациентам 1-й группы выполнялась лазерная геморроидальная пластика (LHP). Пациентам 2-й группы проводилось гибридное хирургическое вмешательство – лазерная геморроидопластика и открытая геморроидэктомия. Хирургические вмешательства осуществлялись под внутривенной анестезией или эндотрахеальным наркозом. Лазерные манипуляции выполняли с использованием диодного лазера (Biolitec) с длиной волны 1470 нм при мощности 8 Вт/с.

Результаты: Геморроидэктомия выполнена: в 162 случаях – по технологии лазерной геморроидальной пластики (LHP); у 196 пациентов осуществлена гибридная геморроидэктомия. Установлено, что при лазерной геморроидальной пластике частота послеоперационных кровотечений составляет 2 (1,2 %) случая, а при гибридной технологии – 4 (2 %) случая. Частота рецидивов в течение 1 года после LHP – 6 (3,7 %), после гибридной технологии – 3 (1,5 %) пациентов.

Заключение: Эффективность применения лазерных методик в проктологии несомненна. Однако выбор между лазерной геморроидальной пластикой (LHP) и гибридной методикой (LHP + геморроидэктомия) требует индивидуального подхода. Целесообразна стандартизация протоколов применения лазерных технологий и целенаправленная оценка объективности выводов о качестве медицинской помощи больным, подвергшимся LHP и гибридной

геморроидэктомии, что должно основываться на результатах лечения более многочисленной группы пациентов.

МЕТОДЫ ЛАЗЕРНОЙ И ЭНДОСКОПИ- ЧЕСКОЙ ХИРУРГИИ В ДИАГНОСТИКЕ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ВЕРХНИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЕЙ

Л.В. Телегина, С.С. Пирогов, А.С. Водолеев,
Н.В. Кутенева, Д.Г. Сухин, Е.В. Филоненко
Московский научно-исследовательский
онкологический институт им. П.А. Герцена,
Москва

Цель: Разработка методов лазерной и эндоскопической хирургии в диагностике онкологических заболеваний верхних дыхательных путей.

Материал и методы: В ФГБУ “МНИОИ им. П.А. Герцена” за период с 1991 по 2025 гг. накоплен клинический опыт применения лазерных и эндоскопических хирургических методов для диагностики опухолей органов дыхания у 1907 больных. При этом: 1) полипоз носа был у 240 пациентов; 2) хоанальный полип – у 25; 3) инвертированная папиллома полости носа – у 6; 4) кисты носо- и ротоглотки, включая болезнь Торнвальда – у 130; 5) дискератоз гортани – у 95; 6) отек Рейнке – у 62; 7) ангиофиброма гортани – у 180; 8) папилломатоз гортани, трахеи и бронхов (в т.ч. с малигнизацией) – 83; 9) рак гортани – 40; 10) доброкачественные опухоли трахеи и бронхов – 160; 11) злокачественные опухоли трахеи и бронхов – 570; 12) грануляции по линии резекции и межбронхиального анастомоза – 52; 13) нейроэндокринные опухоли (типичный карциноид) – 86; 14) РЦЖ с прорастанием в трахею – 32; 15) МТС поражение трахеи и бронхов опухолями других локализаций – 56.

Методы лазерной и эндоскопической хирургии применяли при наличии солидного или экзофитного опухолевого компонентов как с целью рассечения капсулы опухоли для забора материала из глубины тканей, так и с целью ее тотальной петлевой электроэксцизии на гистологическое исследование.

Для рассечения капсулы опухоли применяли игольчатый электродзонд, стандартный электродзонд и/или Nd-YAG лазер. Тотальную биопсию опухоли выполняли при помощи петлевой электроэксцизии (ПЭЭ). После забора материала из глубины тканей или ПЭЭ при по-

вышенной контактной кровоточивости применяли АПК.

Выбор хирургического эндоскопического метода забора материала для гистологического исследования был обусловлен невозможностью верификации диагноза при стандартном ЛОР-осмотре и/или при стандартной видеоларингоскопии.

Результаты: Применение эндоскопической лазерной и/или электрохирургической диагностической или лечебно-диагностической операции дало возможность добиться морфологической верификации диагноза в 100 % наблюдений как при доброкачественных, так и при злокачественных опухолях.

Выводы: Применение современных методов лазерной и эндоскопической хирургии в диагностике опухолевой патологии верхних дыхательных путей в ряде случаев позволяет не только получить материал для гистологического исследования, но и добиться стойкой клинической ремиссии вплоть до полной резорбции как доброкачественных, так и злокачественных опухолей.

ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДИАГНОСТИКЕ МИНИАТЮРНЫХ КОЛОРЕКТАЛЬНЫХ НЕОПЛАЗИЙ

И.В. Терехова¹, Д.В. Сазонов¹, В.А. Дуванский²

¹ Федеральный научно-клинический центр
ФМБА России, Москва

² Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва

Актуальность: В настоящее время оптическая биопсия является одним из методов дифференциальной диагностики миниатюрных и мелких колоректальных неоплазий [1]. Ее применение значительно повышает диагностическую ценность эндоскопических исследований [2]. Использование оптических технологий в колоноскопии позволяет увеличить частоту выявления неоплазий и определить тактику их лечения [3].

Цель: Определить диагностическую точность оптической биопсии миниатюрных эпителиальных неоплазий толстой кишки.

Материал и методы: В исследование было включено 69 пациентов, которым проводилась колоноскопия с единовременной полипэктомией образований до 0,5 см с 03.2024 по 04.2025. Исследование проводилось молодыми

специалистами со стажем работы менее 3 лет. Всего было диагностировано 97 колоректальных неоплазий менее 0,5 см в диаметре. Всем пациентам проводились виртуальная хромокопия в режиме BLI (Blue Light Imaging), либо NBI (Narrow-Band Imaging) без увеличения, с использованием следующих эндоскопических классификаций: Парижская классификация, оценка ямочного рисунка по Kudo, классификации NICE и WASP. В последующем все неоплазии были удалены методами «холодной» щипцевой полипэктомии, петлевой полипэктомии, и были отправлены на гистологическое исследование. По результатам гистологического исследования было определено, что из всех выявленных образований 54 являлись аденоматозными полипами, 6 – сидячими зубчатыми образованиями, 36 – гиперпластическими полипами и 1 образование – субмукозной опухолью мезенхимального происхождения. Исследования сопровождалась фото- и видеофиксацией. Результаты оптической биопсии вносились в протокол исследования. Результаты оценивались в трех различных группах неоплазий: аденоматозных полипов, сидячих зубчатых образований и гиперпластических полипов.

Результаты: Диагностическая точность оптической биопсии образований толстой кишки менее 0,5 см с использованием виртуальной хромокопии в узкоспектральном режиме при выполнении исследования молодыми специалистами составила 98,9 %. При разделении доброкачественных образований на группы диагностическая точность снижается и составляет 85,2 % в группе аденоматозных полипов, 86,2 % в группе гиперпластических полипов. Значительное снижение точности оптической диагностики до 34 % выявлено в группе сидячих зубчатых образований.

Заключение: Оптическая биопсия с использованием виртуальной хромокопии в узкоспектральном режиме показывает высокую точность гистологического прогноза даже у молодых специалистов. Основные сложности интерпретации отдельных групп неоплазий размером менее 0,5 см вызывают сидячие зубчатые образования и неэпителиальные образования толстой кишки. Патоморфологическая диагностика дополняет оптическую биопсию, позволяя повысить информативность эндоскопического исследования.

1. Князев М.В., Дуванский В.А., Агейкина Н.В. Тримодальная эндоскопия в диагностике заболеваний желудочно-

- кишечного тракта // Клиническая эндоскопия. 2012. № 4. С. 2.
2. Дуванский ВА, Терехова ИВ, Сазонов ДВ. Технологии оптической визуализации в эндоскопической диагностике новообразования толстой кишки. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2023; 213 (5): 144-9.
 3. Дуванский ВА, Чесалина ЮО. Современные эндоскопические технологии в диагностике неоплазий толстой кишки. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2019; 164 (4): 93-9.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА И ФЛЮОРЕСЦЕНЦИИ ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОЙ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ ПЛОСКОКЛЕТОЧНОЙ КАРЦИНОМЫ ОРГАНОВ ГОЛОВЫ И ШЕИ

А.Б. Тимурзиева^{1,2}, В.И. Кукушкин³,
В.А. Дуванский², В.И. Попадюк²

¹ Национальный НИИ общественного здоровья
им. Н.А. Семашко, Москва

² Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва

³ Институт физики твердого тела
им. Ю.А. Осипяна РАН, Черноголовка

Цель: Ранняя неинвазивная диагностика воспалительного и опухолевого процесса относится к одной из важнейших задач стратегического развития в системе здравоохранения. Данный аспект определил цель исследования: изучить диагностические возможности комбинационного рассеяния света и флуоресценции для проведения ранней экспресс-диагностики плоскоклеточной карциномы органов головы и шеи.

Материал и методы: В ходе анализа спектров комбинационного рассеяния света и флуоресценции плоскоклеточной карциномы органов головы и шеи были изучены индивидуальные критерии дифференциации их от интактной ткани, окружающей опухоль. В исследовании участвовали пациенты с плоскоклеточной карциномой ЛОР-органов: небных миндалин (N=146 спектров); слюнных желез (N=114 спектров); регионарных лимфатических узлов шеи (N=122 спектра); гортани (N=142 спектра); полости носа и околоносовых пазух (N=112 спектров); кожи наружного слухового прохода, крыла и ската носа (N=136 спектров). Каждый случай был подтвержден гистологическим исследованием. Применялась длина волны лазерного излучения 532 нм. В ходе проведения анализа данных использовались методы Савицкого–

Го–Голя, линейного дискриминантного анализа, принципа наименьших квадратов, главных компонент и др.

Результаты: После регистрации спектральных характеристик плоскоклеточной карциномы органов головы и шеи были получены индивидуальные спектральные критерии в отношении каждой нозологии, которые позволили провести дифференциацию их от интактной ткани в экспресс-режиме.

Заключение: Разработанные алгоритмы с использованием комбинационного рассеяния света и флуоресценции позволят в будущем проводить раннюю неинвазивную экспресс-диагностику опухолевых заболеваний различной локализации.

НЕИНВАЗИВНАЯ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКА ЗАБОЛЕВАНИЙ УХА

А.Б. Тимурзиева^{1,2}, В.И. Кукушкин³,
В.И. Попадюк², В.А. Дуванский²

¹ Национальный НИИ общественного здоровья
им. Н.А. Семашко, Москва

² Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва

³ Институт физики твердого тела
им. Ю.А. Осипяна РАН, Черноголовка

Цель: Разработка методов ранней идентификации воспалительных и опухолевых заболеваний ЛОР-органов относится к одной из значимых задач онкологии и других клинических дисциплин. Целью исследования было исследовать спектральные характеристики при заболеваниях уха с использованием комбинационного рассеяния света и флуоресценции.

Материал и методы: При проведении исследования проводился анализ спектроскопических данных комбинационного рассеяния света и флуоресценции при заболеваниях уха при длине волны лазерного излучения 532 нм. Были получены спектры при хроническом среднем отите без формирования холестеатомы (N=88 спектров); хроническом среднем отите с формированием холестеатомы (N=82 спектра); тимпаносклерозе (N=56 спектров); адгезивном отите (N=72 спектра); базальноклеточной карциноме кожи наружного слухового прохода (N=96 спектров). Была проведена корреляция с результатами гистологического исследования. Применялись методы главных компо-

нент и линейного дискриминантного анализа, Савицкого–Голея и др.

Результаты: В результате исследования были получены спектры тканей уха в норме и при различных заболеваниях. Полученные линии комбинационного рассеяния света в комбинации с сигналом флюоресценции при упомянутых выше нозологиях позволяют судить об индивидуальных спектральных критериях, позволяющих проводить дифференциальную неинвазивную экспресс-диагностику данных заболеваний.

Заключение: При разработке специальных алгоритмов диагностики с использованием комбинированного эффекта комбинационного рассеяния света и флюоресценции представляется возможным идентифицировать ткань, вовлеченную в патологический процесс на ранней стадии, когда изменения еще не видны при обычном осмотре, за счет высоких уровней чувствительности, специфичности и точности предложенного метода.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАЗЕРНОЙ ИНТЕРСТИЦИАЛЬНОЙ ТЕРАПИИ В ЛЕЧЕНИИ ОБЪЕМНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПОЗВОНОЧНИКА

С.А. Туранов, А.В. Иваненко, А.В. Кудзиев,

Е.В. Адиева, Д.А. Ситовская

*Российский научно-исследовательский
нейрохирургический институт им. проф.*

*А.Л. Поленова – филиал Национального меди-
цинского исследовательского центра
им. В.А. Алмазова, Санкт-Петербург*

Цель: Проанализировать влияние применения лазерной интерстициальной термотерапии (ЛИТТ) у пациентов с объемными образованиями позвоночника на сохранение функциональной активности, неврологического статуса и уровня жизни.

Материал и методы: В исследование включены 60 пациентов среднего возраста с наличием объемного образования позвоночника. Были сформированы две группы по 30 человек. Пациенты исследуемой группы были прооперированы с использованием полупроводникового лазера “ЛАХТА-МИЛОН”. Хирургическое вмешательство выполнялось в два этапа. Первый этап – транскутанное внутрикапсульное воздействие на паравerteбрально расположенные узлы опухоли под ультразвуковой навигацией с помощью лазера; второй этап – интра-

операционное воздействие на ткань опухоли, расположенной непосредственно вблизи дурального мешка и корешка. Оценка общего состояния пациентов проводилась перед операцией, после ее проведения и перед выпиской из стационара. Оценивались двигательные и сенсорные нарушения. Для оценки результатов оперативного лечения и качества жизни в до- и послеоперационном периодах у пациентов обеих групп была использована шкала Frankel.

Результаты: По нашим данным, двигательные нарушения были выявлены у 55 (91,7 %) из 60 пациентов. На 10-е сутки после проведения хирургического вмешательства регресс двигательных нарушений произошел как в группе сравнения, так и в группе исследования – у 16,7 и 26,7 % больных соответственно. Число пациентов с двигательными нарушениями к этому сроку уменьшилось. Сенсорные расстройства исходно были выявлены у 58 (96,7 %) из 60 пациентов. На 10-е сутки после операции были выявлены у 22 (73,3 %), а в группе сравнения – у 23 (76,7 %) больных. Спустя месяц также наблюдался регресс сенсорных расстройств: в группе исследования – с 96,7 до 46,7 %, в группе сравнения – с 96,7 до 60 %, что является статистически значимым. Радикулярный болевой синдром исходно выявлен у 41 (68,3 %) пациента, причем в группе сравнения он был выявлен у 19 (63,3 %) больных, а в группе исследования – у 21 (73,3 %) человек. На 10-е сутки после операции корешковый болевой синдром регрессировал у 47 (78,3 %) из 60 больных и сохранялся у 13 (21,7 %) пациентов. При этом в обеих группах он сохранился у 6 (20 %) и у 7 (23,3 %) больных соответственно. Отмечено, что в группе, где использована ЛИТТ, функциональные результаты лечения пациентов уже на 10-е сутки после операции были достоверно значительно лучше в сопоставлении с группой сравнения. Применение хирургического лазера во время операций по удалению опухолей в хирургии позвоночника позволяет снизить кровотечение в группах исследования и сравнения – соответственно $(210,5 \pm 20,6)$ и $(350,0 \pm 21,3)$, $(498,7 \pm 75,9)$ и $(910,5 \pm 97,6)$ мл.

Заключение: Использование лазера “ЛАХТА-МИЛОН” в сравнении с исключительно традиционными хирургическими методами уменьшает тракцию и, следовательно, травматизацию спинного мозга и его корешков, обеспечивает меньшую выраженность неврологической симптоматики и более высокий уровень качества жизни больных в послеоперационном периоде.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГИОНАРНОГО КРОВОТОКА И ЛИМФОТОКА ЖЕВАТЕЛЬНОЙ МЫШЦЫ В РАННЕМ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОМ ПЕРИОДЕ ИШЕМИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

*М.В. Улога, В.В. Астахов, А.А. Борхунов
Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва*

Цель: Ишемические поражения головного мозга занимают одну из ведущих позиций среди актуальных и социально значимых проблем современной медицины. В целях расширения возможностей их диагностики, лечения и профилактики требуется более подробное исследование патофизиологических и патоморфологических механизмах возникновения и развития подобных состояний. В данном контексте представляет интерес изучение регионарного кровотока и лимфотока в зоне, наиболее близкой к головному мозгу. Экспериментально такой зоной была выбрана область жевательной мышцы. Наиболее современным и перспективным методом диагностики циркуляторных изменений и выявления параметров перфузии является лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ).

Материал и методы: Эксперимент выполнен на половозрелых крысах-самцах линии Вистар с массой тела 280–320 г. Тотальную одностороннюю церебральную ишемию моделировали путем перевязки левой общей сонной артерии (a. carotis communis sinistra) шелковым филamentом под этиминаловым наркозом (5 мг/100 г массы тела). Экспериментальные группы животных состояли из десяти особей. Первая группа – интактные животные. Вторая группа – животные в раннем восстановительном периоде церебральной ишемии (7 суток). Исследование гемо- и лимфоциркуляции осуществлялись с помощью ЛДФ-аппарата “Лазма МЦ-1” (Россия).

Исследование показателей кровотока и лимфотока проводились под этиминаловым наркозом. Датчик устанавливался на левую жевательную мышцу. Доступ к данной области проводился путем проведения разрезов и снятия кожи с данной мышцы. Время измерения показателей – 3 минуты. Вычисление показателей микроциркуляции проводилось с помощью прилагающегося к аппарату программного обеспечения. Для анализа использовались средние показатели индекса перфузии периферического кровотока (ПК) и периферического лимфотока (ПЛ) в условных перфузионных еди-

ницах (пф. ед.), его среднего квадратичного отклонения и коэффициента вариации. Регистрируемые показатели обрабатывались с использованием методов вариационной статистики. Достоверность различий определялась с помощью критерия Стьюдента. Достоверными считались результаты при $p < 0,05$.

Результаты: Показатели кровотока и лимфотока в норме составили: ПК – $20,5 \pm 1,2$, ПЛ – $0,78 \pm 0,04$. К раннему восстановительному периоду (7-е сутки) они изменились до следующих значений: ПК – $18,5 \pm 0,6$, ПЛ – $0,80 \pm 0,03$.

Заключение: Таким образом, удалось зафиксировать выраженную разницу в показателях кровотока и лимфотока при сравнении нормальных значений и выявленных в раннем восстановительном периоде церебральной ишемии. Причем снижение скорости кровотока свидетельствует о выраженной централизации кровообращения, а увеличение скорости лимфотока позволяет судить о высокой компенсаторной роли лимфоидного русла в разрешении ишемических состояний головного мозга.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ АНАТОМИЧЕСКИХ СТРУКТУР МЕТОДОМ ОПОРНОГО ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА

*Г.В. Фомов¹, Д.В. Гарага², А.В. Воронов²,
В.И. Чукита²*

¹ Республиканский госпиталь инвалидов ВОВ,
Тирасполь, Приднестровье

² Приднестровский государственный
университет им. Т.Г. Шевченко, Тирасполь,
Приднестровье

Цель: Настоящая работа посвящена разработке и исследованию прототипа лапароскопического модуля дистанционного определения размеров анатомических структур и органов, который позволит хирургам точно и в реальном масштабе времени измерять их размеры в ходе операции.

Материал и методы: В последние годы в медицинской практике активно развиваются современные методы измерения объектов, включая лапароскопические операции. Эти методы основаны на передовых технологиях, таких как оптические системы, 3D-диагностика и 3D-лапароскопия, ультразвуковая лапароскопия, флуоресцентные технологии, а также искусственный интеллект и машинное обучение. Они обеспечивают высокую точность и ско-

рость измерений, что особенно важно в хирургии. Однако высокая стоимость оборудования и программного обеспечения, а также трудности интеграции этих технологий ограничивают их широкое внедрение. Поэтому возникает необходимость разработки доступного устройства, которое эффективно решает поставленные задачи.

Для решения этой проблемы предложен относительно простой и недорогой модуль для дистанционного определения размеров объектов с использованием известного метода опорного пучка. Модуль основан на источнике лазерного излучения мощностью 5 мВт и длиной волны $\lambda = 630$ нм, которое проходит через ткани органов и взаимодействует с их поверхностью и внутренней структурой. Разные ткани отражают, поглощают или рассеивают излучение по-разному в зависимости от плотности, состава и других характеристик. В данном методе лазерный луч направляется в зону обзора камеры.

Таким образом, разработанный модуль позволит точно измерять размеры органов во время лапароскопической операции, обеспечивая хирургу возможность точного и быстрого определения размеров анатомических структур и областей без применения дополнительных инструментов.

Результаты: Получены экспериментальные данные измерения размеров на муляже почки. Метод позволил измерять объекты размером 5–200 мм. Средняя относительная погрешность измерений составила 1,2 %. При калибровке модуля использовались эталонные объекты, которые помещались в поле зрения лапароскопа, чтобы прибор смог их увидеть и измерить. Для проверки точности модуля результаты измерения эталонных объектов сверялись с их известными размерами объекта. Погрешность измерения составила $\pm 1,0$ мм.

Заключение: Предложенный метод может быть интегрирован в видеоэндоскопы, что позволит расширить их диагностические возможности и усовершенствовать хирургические технологии. В отличие от существующих методов, требующих значительного пространства для размещения измерительных приборов, предложенный подход позволяет точно и быстро измерять размеры анатомических структур даже в условиях ограниченного операционного поля.

ВЛИЯНИЕ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ НА РЕЗУЛЬТАТ ГЛАЗНОГО ПРОТЕЗИРОВАНИЯ У ПАЦИЕНТОВ С АНОФТАЛЬМОМ

М.А. Фролов¹, В.В. Шклярчук^{1,2}, Т.З. Фам¹,
С.В. Мельниченко¹, Л.В. Шклярчук¹

¹ Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы, Москва

² Центр глазного протезирования, Москва

Цель: За последние десятилетия появились новые препараты и методы ранней диагностики злокачественных опухолей органа зрения. Тем не менее, в практической офтальмологии остается проблема несвоевременной диагностики и лечения этих заболеваний, что приводит к более радикальным и менее органосохраняющим методам лечения. Лучевая терапия (ЛТ) играет важную роль в лечении опухолей широкого спектра, возникающих или инвазирующих в орбите, располагающихся в непосредственной близости от нее. Следствием лучевой терапии в области орбиты является хронический рубцово-атрофический воспалительный процесс в полости и веках. Орбита постепенно сморщивается, своды сокращаются и полость уменьшается. Кожа, веки укорачиваются, выпадают ресницы. По этой причине глазная щель расширяется (лагофтальм), глазной протез становится большим и не удерживается в конъюнктивальной полости, что ухудшает его внешний вид. Анализ результатов глазного протезирования позволит глубже понять ключевые аспекты этой важной темы.

Материал и методы: Исследование проводилось на базе кафедры глазных болезней Медицинского института Российского университета дружбы народов им. Патриса Лумумбы и в Центре глазного протезирования. В нем участвовали 176 пациентов (102 мужчины и 74 женщины; 180 глаз), обратившихся в Центр глазного протезирования в Москве в период с сентября 2022 г. по сентябрь 2024 г. Возраст участников варьировал от 1,5 месяцев до 75 лет, при среднем возрасте 42,8 месяца. Для оценки косметических и функциональных результатов применялись методы визуального осмотра, биомикроскопии и тест Ширмера.

Результаты: Нами выявлено ухудшение косметического эффекта у пациентов после лучевой терапии, у 85 % пациентов выявлен лагофтальм, который в дальнейшем приводит к ухудшению функционального результата. Пациенты после лучевой терапии чаще отмечают

сухость (70 %), чем слизисто-гнойное отделяемое (22 %). Использование бескровного метода расширения конъюнктивальной полости – ступенчатое протезирование – показало эффективность в большинстве клинических случаев (65 %). Индивидуальное глазное протезирование – с учетом анатомических особенностей пациента – обеспечивает достижение наилучших косметических и функциональных результатов.

Заключение: Таким образом, пациенты после перенесенной онкопатологии представляют собой сложный контингент для глазного протезирования в связи с предшествующей агрессивной тактикой лечения и воздействия лучевой терапии. Понимание специфики протезирования позволит избежать осложнений и повысит эффективность. Только комплексный подход и слаженная работа между офтальмологом-протезистом, офтальмохирургом, пациентом дает наилучший косметический и функциональный результат.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОГО ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 1,94 МКМ ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ С ЭПИТЕЛИАЛЬНЫМИ ДИСПЛАЗИЯМИ СЛИЗИСТОЙ ОБОЛОЧКИ РТА

Г.М. Хисамиева, М.А. Степанов, О.А. Свитич
Первый Московский государственный
медицинский университет им. И.М. Сеченова
Минздрава России, Москва

Цель: Повышение эффективности методов хирургического лечения пациентов с эпителиальными дисплазиями слизистой оболочки рта (ЭД СОР) путем проведения сравнительного анализа клинической эффективности применения волоконного лазера (ВЛ) с длиной волны 1940 нм и традиционной методики иссечения при помощи скальпеля.

Материал и методы: В работу были включены 30 пациентов с подтвержденными гистологическими диагнозами веррукозной лейкоплакии и красного плоского лишая СОР с признаками ЭД средней и тяжелой степени тяжести. Путем случайного распределения у одной группы пациентов ($n=15$) иссечение очагов поражения проводили волоконным лазером с длиной волны 1940 нм (группа исследования), у другой ($n=15$) – скальпелем (группа сравнения). Оценивали скорость сокращения площа-

ди раневой поверхности, отек, болевой синдром и гиперемия в послеоперационной области (на 3 и 5 сутки).

Результаты: Иссечение диспластических поражений эпителия СОР лазерным лучом способствовало ускорению сроков эпителизации: к 5-м суткам сокращение площади послеоперационной раны происходило на 68 %, в группе сравнения – на 33 %. Также на 5-е сутки у группы исследования отсутствовали болевой синдром и гиперемия. На 3-и сутки в 28 % случаев определялся слабовыраженный коллатеральный отек. В то же время у 57 % пациентов, операцию которым проводили при помощи скальпеля, отмечали болевой синдром и у 66 % – коллатеральный отек. На 5-е сутки на боль предъявляли жалобы 34 % пациентов группы сравнения. На 3-и и 5-е сутки гиперемия отмечали в 85 % и 63 % случаев соответственно.

Заключение: Таким образом, волоконный лазер с длиной волны 1,94 мкм является высокоэффективным и наиболее предпочтительным инструментом альтерации при хирургическом лечении пациентов с эпителиальными дисплазиями слизистой оболочки рта. Это проявляется в более благоприятном течении послеоперационного периода: ускорение сроков эпителизации, минимизация послеоперационного болевого синдрома, гиперемии, коллатерального отека и функциональных нарушений.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ У БОЛЬНЫХ С КИСТОЙ БЕЙКЕРА, РЕЦИДИВОМ ВАРИКОЗНОЙ БОЛЕЗНИ, МНОЖЕСТВЕННЫМИ ТЕЛЕАНГИОЭКТАЗИЯМИ

А.И. Чернооков¹, Н.Ю. Коробова²,
А.С. Вищипанов¹, О.М. Дондуп¹, Э.А. Шентак¹,
О.Г. Устинов¹, Д.А. Рудковская¹, С.А. Абрамян¹

¹ Российский национальный исследовательский
медицинский университет им. Н.И. Пирогова

Минздрава РФ, Москва

² Росбиотех, Москва

Цель: Лечение больных с кистой Бейкера, рецидивом варикозной болезни и множественными телеангиоэктазиями является актуальной проблемой. Данная сочетанная патология встречается в 1,9–20,6 % случаев, протекает по принципу взаимного отягощения и существенно снижает качество жизни пациентов. Комплексное применение лазерных технологий в

лечении данной категории больных является на сегодняшний день одним из перспективных подходов в современной хирургии. Целью этого исследования является улучшение результатов, косметического эффекта лечения больных с кистой Бейкера, рецидивом варикозной болезни и множественными телеангиоэктазиями.

Материал и методы: На базах кафедры хирургии повреждений с курсом ВПХ Росбиотеха, Центре флебологии с 2014 по 2021 гг. было пролечено 11 пациентов с кистой Бейкера в сочетании рецидивом варикозной болезни в бассейне БПВ и МПВ с клиническим классом С2-С3 согласно классификации СЕАР. Среди них было 8 женщин и 3 мужчины в возрасте от 38 лет до 61 года. Всем больным была выполнена одномоментная эндовазальная лазерная облитерация кисты и рецидивных вен, из них 4 пациенткам с множественными телеангиоэктазиями через 1–2 месяца после операции была произведена чрескожная фотокоагуляция КТ-Nd:YAG лазером.

Результаты: Облитерация рецидивных вен и кисты Бейкера достигнута у всех пациентов, технический успех составил 100 %. У больных после применения чрескожной фотокоагуляции КТ-Nd:YAG лазером ликвидировано от 45 до 75 % телеангиоэктазий диаметром до 4–5 мм. В раннем послеоперационном периоде осложнений не зафиксировано, однако у 6 больных отмечен локальный отек, который самостоятельно купировался в течение 7–10 дней. В отдаленном периоде при оценке пациентов по десятибалльной шкале (0 баллов – наихудший результат, 10 – наилучший) косметический эффект лечения составил в среднем 8,7 баллов.

Заключение: Применение лазерных вмешательств у больных с кистой Бейкера, рецидивом варикозной болезни и множественными телеангиоэктазиями позволяет одномоментно избавить пациента от обеих заболеваний, улучшить непосредственные, отдаленные и косметические результаты лечения.

СРАВНЕНИЕ ПЛАНОВ ТОТАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ ТЕЛА И ТАРГЕТНОГО ОБЛУЧЕНИЯ КОСТНОГО МОЗГА И ЛИМФОИДНОЙ СИСТЕМЫ У ДЕТЕЙ С ОНКОГЕМАТОЛОГИЧЕСКИМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ

А.А. Логинова^{1,2}, А.О. Лисовская¹, Ф.Я. Канестри¹, Ю.М. Воеводина¹, А.В. Нечеснюк¹

¹ Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии им. Дмитрия Рогачева Минздрава РФ, Москва

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцина

COMPARISON OF TOTAL BODY IRRADIATION AND TARGETED BONE MARROW AND LYMPHOID SYSTEM IRRADIATION PLANS IN CHILDREN WITH ONCOHEMATOLOGICAL DISEASES

A.A. Loginova^{1,2}, A.O. Lisovskaya¹, F.Y. Kanestry¹, U.M. Voevodina¹, A.V. Nechesnyuk¹

¹ Dmitry Rogachev National Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Moscow, Russia

² D. Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Реферат

Актуальность: Тотальное облучение тела (TOT) является стандартной опцией при лечении пациентов с острыми лейкозами и применяется в качестве этапа кондиционирования перед аллогенной трансплантацией костного мозга. Однако проблемой остается достаточно высокая вероятность рецидива и токсичность терапии. Внедрение новых методик облучения позволяет надеяться на то, что роль лучевой терапии в кондиционировании может быть по-новому определена и расширена.

Цель: Физико-дозиметрическое обоснование метода таргетного облучения костного мозга и лимфоидной системы (ТОКЛ), и его сравнение с уже внедренным в практику методом конформного TOT в условиях одного центра.

Материал и методы: Дозиметрической оценке подверглись лечебные планы шести пациентов детского возраста с острым миелобластным лейкозом, получивших ТОКЛ. В качестве группы сравнения использовались ранее опубликованные данные 143 пациентов с острым лимфобластным лейкозом, получивших TOT в том же центре. Использовалась методика спирального облучения на аппарате TomoTherapy (Accuray, США). Облучение дважды в день, 6 фракций. Для планов TOT мишенью облучения суммарной дозой 12 Гр было выбрано все тело, при этом объем каждого легкого, получающего 8 Гр, не должен был превышать 40 %, а минимальная доза в легких должна была составлять не менее 6 Гр, средняя доза в почках должна быть менее 8 Гр. Для планов ТОКЛ в качестве цели планирования была поставлена задача эскалации суммарной дозы в костном мозге (PTV₁₅₀₀) до 15 Гр и конформным облучением стандартными дозами 12 Гр клинически важных мишеней (PTV₁₂₀₀ включает лимфатические узлы, центральную нервную систему, яички) с максимально возможным снижением дозы во всех органах риска.

Результаты: Цель эскалации дозы в костном мозге при ТОКЛ была достигнута, среднее значение суммарной дозы в PTV₁₅₀₀ составило 14,9±0,1 Гр, не менее 95 % PTV₁₅₀₀ получило дозу 14,1±0,4 Гр, среднее значение дозы ребрах, сегментированных на уровне легких, составило 14,3±0,4 Гр, среднее значение дозы в PTV₁₂₀₀ составило 12,7±0,1 Гр. В планах ТОКЛ было до-

стигнуто более существенное снижение средних доз в органах риска по сравнению с планами TOT: от 5 % до 33 % в зависимости от их анатомического расположения, за исключением хрусталиков глаза, средняя доза в которых увеличилась на 13 %. Все индивидуальные лечебные планы показали удовлетворительные результаты дозиметрической проверки.

Заключение: Несмотря на успешную эскалацию дозы в костном мозге, средняя доза в большинстве органов риска в планах ТОКЛ была существенно ниже по сравнению с планами TOT. Рассмотренный метод ТОКЛ технически реализуем на аппарате TomoTherapy, обеспечивая требуемую эскалацию дозы в костном мозге и облучение остальных клинически важных мишеней стандартной предписанной дозой при одновременном снижении дозы в органах риска у детей с онкогематологическими заболеваниями.

Ключевые слова: острый лейкоз, тотальное облучение тела, таргетное облучение костного мозга и лимфатической системы, эскалация дозы, дети

Abstract

Background: Total body irradiation (TBI) is a standard option in the treatment of patients with acute leukemia and is used in conditioning regimens before allogeneic bone marrow transplantation. However, the problem remains a fairly high probability of relapse and toxicity of therapy. The introduction of new irradiation techniques allows us to hope that the role of radiotherapy in conditioning can be redefined and expanded.

Purpose: To provide dosimetric feasibility for the method of targeted irradiation of the bone marrow and lymphoid system (TMLI) and compare it with the already introduced into practice method of conformal TBI in a single center.

Material and methods: The treatment plans of six pediatric patients with acute myeloid leukemia who received TMLI were evaluated dosimetrically. Previously published data on 143 patients with acute lymphoblastic leukemia who received TBI at the same center were used as a comparison group. The spiral irradiation technique was used on the TomoTherapy device (Accuray, USA). Irradiation was twice a day, 6 fractions. For the TBI plans, the whole body was chosen as the target for irradiation with a dose of 12 Gy, but the volume of each lung receiving 8 Gy should not exceed 40 % and $D_{min} < 6$ Gy, the average dose in the kidneys should be < 8 Gy. For the TMLI plans, the planning goal was to escalate the dose to the bone marrow (PTV_1500) to 15 Gy and conformal irradiation with standard doses of 12 Gy to clinically important targets (PTV_1200 includes lymph nodes, central nervous system, testes) with the maximum possible dose reduction in all organs at risk.

Results: The goal of dose escalation in the bone marrow in TMLI was achieved, the average dose in PTV_1500 was 14.9 ± 0.1 Gy, at least 95 % of PTV_1500 received a dose of 14.1 ± 0.4 Gy, the average dose in the ribs segmented at the lung level was 14.3 ± 0.4 Gy, the average dose in PTV_1200 was 12.7 ± 0.1 Gy. In comparison to TBI the average dose in the organs at risk for TMLI was reduced by 5 % to 33 % depending on their anatomical location, with the exception of the lenses of the eye, the average dose in which increased by 13 %. All individual treatment plans showed satisfactory results of dosimetric verification.

Conclusion: Despite successful dose escalation in the bone marrow, the average dose in most organs at risk in the TMLI plans was significantly lower compared to the TBI plans. The TMLI method is technically feasible using TomoTherapy device, provides the required dose escalation in the bone marrow, irradiation of the clinically important targets with the standard prescribed dose while simultaneously reducing the dose in organs at risk in children with oncohematological diseases.

Key words: TBI, TMLI, bone marrow, dose escalation, children

E-mail: aloginovaa@gmail.com

<https://doi.org/10.52775/1810-200X-2025-106-2-72-78>

Введение

Тотальное облучение тела (TOT) применяется в качестве этапа кондиционирования перед аллогенной трансплантацией костного мозга при лечении пациентов высокого риска с

острыми лейкозами [1]. Однако проблемой остается достаточно высокая вероятность рецидива заболевания. Показано, что для достижения лучшего клинического эффекта требуется эскалация дозы TOT, при этом увеличивается смертность от лучевой токсичности [2].

Внедрение современных методик лучевой терапии, появление нового радиотерапевтического оборудования привело к тому, что все больше центров меняют свой подход к технологии TOT и переходят от традиционных способов TOT к методам конформного ротационного облучения. Эти методы позволяют улучшить однородность облучения мишени, обеспечить лучший контроль поглощенной дозы в теле пациента и предоставляют больше свободы для персонализации терапии – снижения дозы в органах риска.

В течение последнего десятилетия несколько отделений в мире успешно сделали следующий шаг к более целенаправленному облучению костного мозга/лимфоидной ткани [3, 4]. В то время, как методы конформного ротационного TOT в первую очередь направлены на контроль и ограниченное снижение дозы в некоторых органах риска, то методы тотального облучения костного мозга и лимфоидной системы в первую очередь направлены на эскалацию дозы в мишени и при этом на максимальное снижение дозы практически во всех органах, где это доступно.

Таким образом, роль лучевой терапии в кондиционировании пациентов детского возраста также может быть определена по-новому. В частности, мы разработали метод селективного (таргетного) облучения с эскалацией дозы в костном мозге и конформным облучением стандартными дозами клинически важных мишеней (лимфатических узлов, центральной нервной системы, яичек) с максимально возможным снижением дозы во всех органах риска. В настоящее время в литературе отсутствует общепринятая терминология, соответствующая данному виду тотального облучения. На наш взгляд, наибольшее описательное соответствие имеет следующая формулировка: таргетное облучение костного мозга и лимфоидной системы (ТОКЛ).

Практически все новые методы облучения развиваются изолированно, и поэтому решения о предписании дозы, способам облучения, достижимости целей планирования существенно отличаются между центрами. Целью данной работы является физико-дозиметрическое обоснование метода ТОКЛ, разработанного для применения у педиатрических пациентов с острыми лейкозами и его сравнение с уже внедренным в практику методом конформного TOT в условиях одного и того же центра [5].

Материал и методы

Методика облучения: Для реализации планов ТОКЛ и TOT использовалась методика лучевой терапии с модуляцией интенсивности в режиме спирального облучения на аппарате Hi-Art TomoTherapy 4.5 (Accuray Inc., Калифорния, США). Подробное описание материалов и методов создания, дозиметрической проверки и реализации лечебных планов TOT представлено в публикации [5].

Характеристика пациентов: В данной работе дозиметрической оценке подверглись лечебные планы ТОКЛ пациентов с острым миелобластным лейкозом, созданные за период с июля по ноябрь 2023 г. Всего 6 пациентов ростом от 104 до 167 см, возраст от 4 до 16 лет. В качестве группы сравнения выступали планы 157 пациентов, получивших TOT с использованием TomoTherapy, результаты опубликованы в статье Loginova et al. [5]. После лучевой терапии проводилась химиотерапия и аллогенная трансплантация гемопоэтических стволовых клеток.

Иммобилизация пациентов: для иммобилизации всего тела в положении лежа на спине использовались вакуумные матрасы с жесткими креплениями к кушетке и фиксацией головы с помощью термопластичных масок производства Elekta (UK, Crawley). Руки и кисти пациента располагались как можно ближе к телу, чтобы улучшить однородность распределения дозы при спиральном облучении и максимизировать объем тела в поле зрения мегавольтной компьютерной томографии аппарата TomoTherapy.

Симуляция на компьютерном томографе: Изображения при компьютерной томографии (КТ) пациентов были получены в режиме свободного дыхания с толщиной среза 5 мм с использованием напряжения рентгеновской трубки 120 кВ и максимально возможным полем зрения 65 см. Изображения для пациентов ростом более 115 см были получены с помощью двух сканирований, проведенных в противоположных направлениях, чтобы преодолеть ограничения по протяженности мишеней для установки TomoTherapy. Первое сканирование включало верхнюю часть тела до колен в положении пациента лежа на спине головой вперед. Второе сканирование нижней части тела начиналось с кончиков стоп до таза в положении пациента на спине ногами вперед по отношению к гантри. Перекрытие областей сканирования

необходимо для выполнения регистрации изображения и контроля дозы в области стыковки полей. В области стыковки были размещены рентгеноконтрастные метки, чтобы обеспечить контроль при регистрации изображений верхней и нижней частей тела.

Оконтурирование: Оконтурирование выполнялось в системе MIM Maestro™ (MIM Software Inc., США) с использованием предварительно разработанных полуавтоматических рабочих потоков. Ребра были оконтурены как дополнительный целевой объем в пределах мишеней для лучшего контроля резкого градиента дозы в области, прилегающей к легким.

Предписание дозы для планов ТОКЛ:

PTV_1200 (лимфатическая, центральная нервная системы и яички у пациентов мужского пола с отступом 5 мм) – суммарная доза (СД) 12,0 Гр; PTV_1500 (весь скелет за исключением верхней и нижней челюсти с отступом 5 мм) – СД 15,0 Гр, облучение дважды в день, всего 6 фракций. Доза в органах риска (хрусталики глаза, щитовидная железа, легкие, сердце, почки, печень, кишечник, мочевой пузырь) должна быть максимально снижена.

Предписание дозы для планов ТОТ:

PTV_1200 (все тело с отступом внутрь 3 мм, за исключением легких, почек и хрусталиков) – СД 12,0 Гр, облучение дважды в день, всего 6 фракций. СД в органах риска предписывалась следующим образом: в легких V8 <40 % (то есть объем каждого легкого, получающего 8 Гр, не должен был превышать 40 % от всего объема легкого) с минимальной дозой не менее 6 Гр. Средняя доза в почках должна быть <8 Гр. Доза в хрусталиках глаза должна быть максимально снижена при сохранении покрытия мишени 95 % от предписанной дозы в прилегающих к глазам областях.

Расчет дозы: Планы ТОТ и ТОКЛ были созданы с использованием системы планирования non-Volo TomoTherapy 4.5 (Accuray Inc., Саннивейл, Калифорния, США) в геометрии спирального облучения без опции TomoEdge.

Мы использовали предварительно сформированные шаблоны планов. Сначала выполнялись 300–350 итераций оптимизации в фоновом режиме. Вместе с первоначальным расчетом бимлетов этот процесс производится без участия персонала и занимает до 6 часов, затем проводится 50–100 итераций с активным участием планировщика.

Используемая версия системы планирования не позволяет выполнять регистрацию

изображений и оптимизацию дозы нижней части тела на основе распределения дозы верхней части тела. Расчеты дозы проводились независимо друг от друга на каждой серии изображений. Таким образом, при оптимизации дозы в нижней части тела отсутствует возможность компенсировать возможные отклонения заданного градиента в области стыковки верхней части тела. По этой причине для достижения однородности облучения зоны стыковки в пределах 90–120 % мы использовали заранее определенный отступ между PTV [5–7]. Размер отступа зависит от параметров оптимизации дозиметрического плана. В данной работе его значение составило 6 см, ширина радиационного поля 5 см, значение pitch 0,287 для верхней части тела и 0,43 для нижней, коэффициент модуляции 3,7 для верхней части тела и 1,8 для нижней. После окончания планирования проводилось совмещение изображений КТ верхней и нижней частей тела и суммирование соответствующих распределений дозы с использованием внешнего программного обеспечения MIM Maestro™ (MIM Software Inc., США). Таким образом мы получали полные КТ-изображения тел пациентов и распределения дозы. Дополнительно для оценки распределения дозы оконтуривали объем тела пациента, включающий зону стыковки радиационных полей между верхней и нижней частью тела.

Дозиметрическая проверка планов: Процедуры гарантии качества планов включали дозиметрические проверки и независимый расчет дозы в системе MIM SureCalc® MonteCarlo для каждого плана лечения. В качестве входных данных системы независимого расчета дозы MIM SureCalc® MonteCarlo выступали данные, полученные из системы дозиметрического планирования, а именно КТ-изображения, структуры, план и распределение рассчитанной поглощенной дозы в формате DICOM. При этом было выбрано значение статистической неопределенности расчета Монте-Карло 0,5 %. Результаты независимого расчета планов с модуляцией интенсивности оценивались с использованием гамма-критерия 4 %/2 мм, рассчитанного во всем объеме тела пациента с отсечкой по дозе 20 %.

Измерения абсолютной дозы проводились с использованием ионизационных камер (ExtraDIN Chambers, A1SL), 8-канального электрометра (TomoElectrometer) и тканеэквивалентного фантома (Cheese Phantom), предоставленного Accuray Inc. (США). Ионизацион-

ные камеры располагались в четырех точках фантома, две из которых соответствовали расположению органов риска, а две другие – области мишени.

Анализ дозиметрических параметров лечебных планов: Сравнение результатов дозиметрического планирования ТОКЛ с внедренным в рутинную клиническую практику методом конформного ТОТ проводилось путем анализа гистограмм доза–объем. В качестве сравниваемых параметров были выбраны значения средних и минимальных доз в объемах мишеней и органов риска. Для мишеней при выполнении ТОКЛ также оценивалось, какой дозой покрывается как минимум 90 % объема мишеней: PTV_1500, PTV_1200, а также отдельно выделенного объема ребер, сегментированного на уровне легких. Для сравнения результатов был выбран U-критерий Манна–Уитни – непараметрический статистический критерий, используемый для сравнения двух выборок, независимых по уровню какого-либо признака, измеренного количественно.

Результаты

Для планов ТОКЛ удалось успешно реализовать эскалацию дозы, в данном разделе и везде далее по тексту речь идет о СД. Так, среднее значение дозы в PTV_1500 составило $14,9 \pm 0,1$ Гр, не менее 95 % PTV_1500 получило дозу $14,1 \pm 0,4$ Гр, 90 % PTV_1500 получило дозу не менее чем $14,1 \pm 0,2$ Гр, при этом 90 % PTV_1200 получило дозу не менее чем $11,9 \pm 0,1$ Гр. Среднее значение дозы ребрах, сегментированных на уровне легких, составило $14,3 \pm 0,4$ Гр, среднее значение дозы в PTV_1200 составило $12,7 \pm 0,1$ Гр. На рис. 1 представлено сравнение средних доз в мишенях при использовании ТОТ и ТОКЛ соответственно. В табл. 1 представлены данные о средних дозах в органах риска при выполнении ТОКЛ и ТОТ.

Статистический анализ данных гистограмм доза–объем показал, что нулевая гипотеза о том, что нет статистической разницы между группами ТОКЛ и ТОТ, была отвергнута для всех рассматриваемых переменных, то есть можно утверждать, что значения средних и минимальных доз во всех мишенях и органах риска с вероятностью ошибки 5 % статистически различаются.

На рис. 2 представлено сравнение минимальных доз в основных органах риска при ис-

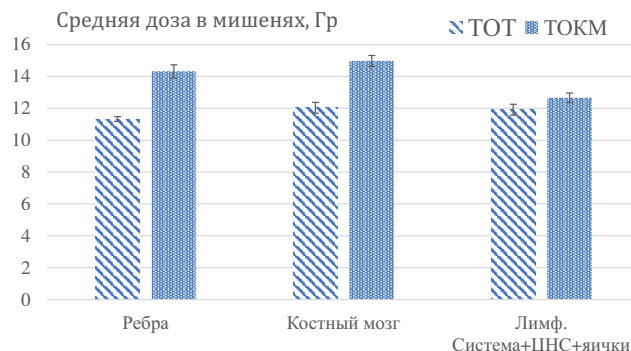


Рис. 1. Сравнение средних доз в мишенях для методов тотального облучения тела (ТОТ) и таргетного облучения костного мозга и лимфоидной системы (ТОКЛ), реализованных на аппарате TomoTherapy

Таблица 1

Сравнение средних доз в органах риска при выполнении таргетного облучения костного мозга и лимфоидной системы (ТОКЛ) и тотального облучения тела (ТОТ)

Орган риска	Средняя доза $\pm$ станд. отклонение, Гр	
	ТОКЛ	ТОТ
Хрусталики глаза	$6,8 \pm 1,1$	$6,0 \pm 0,7$
Щитовидная железа	$10,5 \pm 0,5$	$12,0 \pm 0,7$
Легкое	$6,9 \pm 0,4$	$7,8 \pm 0,1$
Сердце	$9,4 \pm 0,8$	$11,8 \pm 0,5$
Почка правая	$5,1 \pm 0,3$	$7,6 \pm 0,3$
Почка левая	$7,3 \pm 0,3$	$7,6 \pm 0,3$
Печень	$9,5 \pm 0,8$	$12,1 \pm 0,4$
Кишечник	$9,4 \pm 0,7$	$12,0 \pm 0,4$
Мочевой пузырь	$11,1 \pm 1,4$	$12,0 \pm 0,4$

пользовании рассматриваемой методики облучения (ТОКЛ) и уже реализованной методике конформного ТОТ на том же оборудовании [5].

На рис. 3 представлено сравнение распределения доз на примере пациентов при использовании ТОКЛ и конформного ТОТ.

Все индивидуальные лечебные планы показали удовлетворительные результаты дозиметрической проверки. В 100 % случаев измеренная доза находилась в пределах 3 % от расчетного значения. Анализ данных независимого расчета дозы планов ТОКЛ показал, что процент точек, отвечающих гамма-критерию 4 %/2 мм во всех рассмотренных случаях превысил уровень 95 % и составил $98,2 \pm 1,5$ %.

Совмещение изображений верхней и нижней части тела и суммирование дозы после окончания планирования показало, что для всех случаев доза в области стыковки

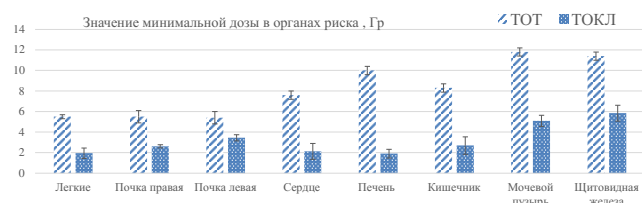


Рис. 2. Сравнение минимальных доз в органах риска для методов тотального облучения тела (TOT) и таргетного облучения костного мозга и лимфоидной системы (ТОКЛ), реализованных при спиральном облучении на аппарате TomoTherapy

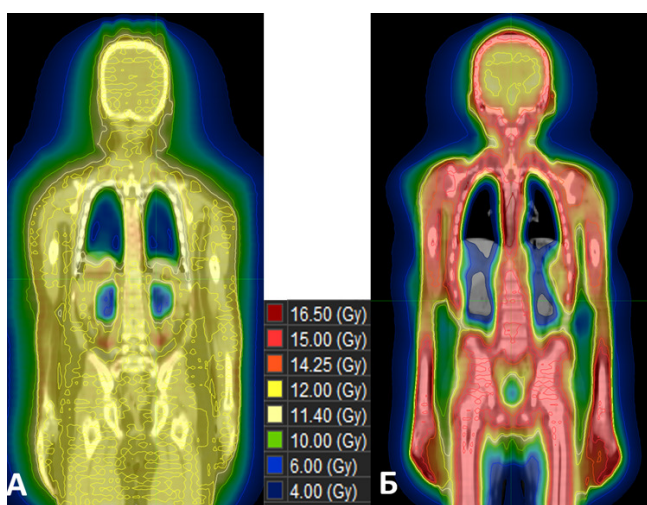


Рис. 3. Сравнение распределений дозы на примере А – тотального облучения тела (TOT) и Б – таргетного облучения костного мозга и лимфоидной системы (ТОКЛ), реализованных при спиральном облучении на аппарате TomoTherapy

находилась в диапазоне между 90–120 % от предписанного значения.

Этап оконтуривания был успешно стандартизирован и автоматизирован. Время, затраченное на оконтуривание одного пациента, получающего TOT (всего 22 структуры, включая вспомогательные) составило 10–20 минут, а на одного пациента, получающего ТОКЛ (всего 42 структуры, включая вспомогательные), составляет 20–30 минут.

Обсуждение

Несмотря на успешную эскалацию дозы в костном мозге, средняя доза в большинстве органов риска в планах ТОКЛ оказалась существенно ниже по сравнению с планами TOT. Значения доз для правой и левой почки пред-

ставлены по отдельности, поскольку в отличие от правой, левая почка анатомически прилегает к селезенке, которая входит в состав лимфатической системы и включена в RTV_1200.

Как средние, так и минимальные дозы в органах риска существенно меньше при выполнении ТОКЛ по сравнению с TOT. Средняя доза в органах риска была в зависимости от их анатомического расположения была снижена от $5 \pm 0,3$ % (левая почка) до $33 \pm 0,3$ % (правая почка), за исключением хрусталиков глаза, средняя доза в которых увеличилась на $13 \pm 0,9$ %. При этом значения максимальных доз практически во всех органах риска при ТОКЛ выше таковых по сравнению с TOT, что обусловлено эскалацией дозы в костном мозге.

Снижение дозы призвано обеспечить более низкие профили токсичности для органов риска у пациентов с острым лейкозом, получающих трансплантацию костного мозга или гемопоэтических стволовых клеток в комбинации с ТОКЛ. При этом вопросы о показаниях лечению и рисках экстрамедуллярных рецидивов у пациентов, получающих ТОКЛ, должны решаться клиницистами. Оценка показаний к проведению терапии и вероятности возможных рецидивов в результате снижения дозы в органах риска не являются задачами данного исследования.

Время, необходимое для полного расчета плана лечения, варьировалось от 4 до 7 часов, в зависимости от размера тела пациента. Использование шаблонов планов ускоряет процесс и сокращает время расчета дозы с участием персонала до 60 мин, что приблизительно соответствует времени, затраченному на планирование TOT в нашем центре [5].

Время непосредственной доставки дозы при ТОКЛ несколько больше, чем при TOT, поскольку оно зависит не только от протяженности мишени, но и от выбранных геометрических параметров плана, значения Pitch, а также коэффициента модуляции плана. В среднем время доставки дозы составило 37 мин, в диапазоне от 27 до 64 минут.

TOT и ТОКЛ – сложные и ресурсоемкие методы, требуют тщательного контроля процедуры укладки пациента, поскольку мишень имеет сложную нерегулярную форму и большую протяженность. На каждом этапе подготовки к облучению необходим постоянный поиск баланса между улучшением качества и затраченным временем на предлучевую подготовку.

Заключение

Современные методы конформного ротационного ТОТ и ТОКЛ направлены на поиск уменьшения острой и поздней токсичности лучевого этапа лечения при сохранении эффективности терапии. Доза в большинстве органов риска в планах ТОКЛ была существенно ниже по сравнению с планами ТОТ. Рассмотренный метод ТОКЛ технически реализуем на аппарате TomoTherapy, обеспечивает требуемую эскалацию дозы в костном мозге, облучение остальных клинически важных мишеней стандартной предписанной дозой при одновременном снижении дозы в органах риска у детей с онкогематологическими заболеваниями.

Список литературы

1. Peters C, Dalle JH, Locatelli F, Poetschger U, Sedlacek P, Buechner J et al. Total body irradiation or chemotherapy conditioning in childhood all: A multinational, randomized, noninferiority phase III study. *J Clin Oncol*. 2021 Feb 1; 39 (4): 295-307. <https://doi.org/10.1200/JCO.20.02529>.
2. Hoeben BAW, Pazos M, Seravalli E, Bosman ME, Losert C, Albert MH et al. ESTRO ACROP and SIOPE recommendations for myeloablative Total Body Irradiation in children. *Radiother Oncol*. 2022 Aug; 173: 119-33. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2022.05.027>.
3. Parsons D, Lim TY, Teruel JR, Galavis P, Agostinelli S, Liang J et al. Considerations for intensity modulated total body or total marrow and lymphoid irradiation. *Clin Transl Radiat Oncol*. 2023 Sep 9; 43: 100674. <https://doi.org/10.1016/j.ctro.2023.100674>.
4. Haraldsson A, Engellau J, Lenhoff S, Engelholm S, Вдск S, Engström PE. Implementing safe and robust Total Marrow Irradiation using Helical Tomotherapy - A practical guide. *Phys Med*. 2019 Apr; 60: 162-7. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2019.03.032>.
5. Loginova AA, Tovmasian DA, Lisovskaya AO, Kobyzeva DA, Maschan MA, Chernyaev AP, et al. Optimized Conformal Total Body Irradiation methods with Helical Tomotherapy and Elekta VMAT: Implementation, Imaging, Planning and Dose Delivery for Pediatric Patients. *Front Oncol*. 2022 Mar 10; 12: 785917. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.785917>.
6. Usui K, Isobe A, Hara N, Shikama N, Sasai K, Ogawa K. Appropriate treatment planning method for field joint dose in total body irradiation using helical tomotherapy. *Med Dosim*. 2019 Winter; 44 (4): 344-53. <https://doi.org/10.1016/j.meddos.2018.12.003>.
7. Логинова АА, Товмасын ДА, Черняев АП, Варзарь СМ, Кобызева ДА, Нечеснюк АВ. Методика стыковки полей при тотальном облучении тела с использованием технологии Томотерапии. Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2018; 63 (2): 55-61.
Loginova AA, Tovmasyan DA, Chernyaev AP, Varzar' SM, Kobyzeva DA, Nechesnyuk AV. Field Junction Technique for Helical Tomotherapy-Based Total Body Irradiation. *Med Radiol Radiat Safety*. 2018; 63 (2): 55-61. https://doi.org/10.12737/article_5ac622371650f7.48983677 (In Russ).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 18.03.2025. **Принята к публикации:** 10.06.2025.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 18.03.2025. **Accepted for publication:** 10.06.2025.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ: ОПТИМИЗАЦИЯ ОКОНТУРИВАНИЯ В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ С ПОМОЩЬЮ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Ю.А. Кудашкина, О.А. Рыжикова, А.А. Куфелкина, П.И. Блиганов, М.В. Черных
НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России, Москва

AUTOMATION OF RADIOTHERAPY PROCESSES: OPTIMIZATION OF CONTOURING IN RADIOTHERAPY USING MACHINE LEARNING

Yu.A. Kudashkina, O.A. Ryzhikova, A.A. Kufelkina, P.I. Bliganov, M.V. Chernykh
N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology of the Ministry of Health
of the Russian Federation, Moscow, Russia

Реферат

Внедрение технологий машинного обучения, в частности нейронных сетей, в медицину значительно изменило подходы к диагностике и лечению различных заболеваний. Одной из наиболее перспективных областей является лучевая терапия (ЛТ), где автоматизация процессов может существенно повысить точность и эффективность лечения. Автоокоптурирование, выполняемое посредством автоматизированного определения целевых объемов мишеней и критических органов на основе нейронных сетей, может заменить традиционное окоптурирование в ручном режиме врачами-радиотерапевтами. Такой подход позволяет не только снизить временные затраты на обработку медицинских изображений, но и уменьшить риск возникновения ошибок, обусловленных человеческим фактором, при повышении качества планирования лечения.

Введение технологий искусственного интеллекта (ИИ) в процесс окоптурирования представляет собой многообещающее направление, способствующее повышению точности и эффективности лучевой терапии. В данной статье рассматривается методика создания базы данных для разработки и верификации моделей машинного обучения для автоматизации процесса окоптурирования мишени (опухоли или ложа опухоли) и критических органов. Решен ряд задач, включая анализ существующих проблем окоптурирования, сбор данных для обзора литературы по методам ИИ и для обучения нейросетей и интеграцию технологий в клиническую практику.

Ключевые слова: онкологические заболевания, лучевая терапия, искусственный интеллект, окоптурирование мишеней, модель машинного обучения, клиническая практика

Abstract

In recent years, the introduction of machine learning technologies, in particular neural networks, into medicine has significantly changed approaches to the diagnosis and treatment of various diseases. One of the most promising areas is radiation therapy (RT), where process automation can significantly improve the accuracy and efficiency of treatment. The possibility of introducing neural network-based autocontouring into the practice of LT to automatically determine the contours of target radiation exposure, which was traditionally performed manually by radiotherapists, can become an automatic process. This approach not only reduces time spent on processing medical images, but also reduces the risk of human error, improving the quality of treatment planning.

The introduction of artificial intelligence (AI) technologies into the delineation process represents a promising direction to improve the accuracy and efficiency of radiation therapy. This paper discusses a database methodology for developing and verifying machine learning models that will automate the delineation process of tumor structures and critical organs. A number of tasks are proposed, including analyzing existing delineation problems, writing a literature review on AI methods, collecting data for

training neural networks, and integrating the technology into clinical practice.

Key words: oncological diseases, radiation therapy, artificial intelligence, contouring, machine learning model, clinical practice

E-mail: kudashkina.work@gmail.com

<https://doi.org/10.52775/1810-200X-2025-106-2-79-91>

Введение

Онкологические заболевания, согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), продолжают оставаться одной из основных причин (развития) заболеваемости и смертности по всему миру, занимая второе место после сердечно-сосудистых заболеваний по количеству новых случаев и уровню летальности [1]. Одной из значительных преград в успешном лечении онкологических заболеваний является их способность к метастазированию, что усложняет процесс лечения и является неблагоприятным фактором для жизни пациентов. К сожалению, онкологические заболевания часто диагностируются на поздних клинических стадиях, что снижает эффективность дальнейшего лечения [2].

Одним из методов лечения онкологических заболеваний является лучевая терапия (ЛТ), направленная на уничтожение опухолевых клеток или замедление их роста. ЛТ применяется не только в качестве самостоятельного метода лечения, но и в качестве адъювантной терапии после хирургического вмешательства с целью уничтожения оставшихся опухолевых клеток. Процесс ЛТ включает несколько ключевых этапов: топометрическую подготовку, определение мишеней (оконтурирование), планирование терапии, непосредственное лечение и контроль состояния пациента.

Точность определения границ опухоли имеет решающее значение для успешного проведения ЛТ. Недостаточная визуализация может неблагоприятно сказаться на результатах лечения. Таким образом, исследования, связанные с использованием искусственного интеллекта (ИИ) в ЛТ, представляют собой перспективное направление.

Целью работы является создание базы клинических данных о пациентах для разработки, обучения и верификации моделей ма-

шинного обучения, направленных на оконтурирование опухолевых очагов и критических структур. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- ✓ выявить проблемы, возникающие при оконтурировании опухолей и критических структур;
- ✓ представить литературные данные по методам ИИ при оконтурировании с учетом отступов;
- ✓ собрать клинические данные по локализациям и оконтуренным клиническим случаям для обучения нейросетей;
- ✓ протестировать различные варианты на корректность получаемых контуров;
- ✓ проанализировать полученные результаты с добавлением новых случаев для обучения нейросетей;
- ✓ интегрировать разработанные решения в клиническую практику.

Материал и методы

Обучающая выборка включает данные о 3000 пациентов со злокачественными новообразованиями различных нозологий. В базу данных для головного мозга были отобраны случаи ЛТ, проводимой на весь объем головного мозга, первичные опухоли ЦНС и метастазы в головном мозге. База данных об абдоминальной области, репродуктивных и мочевыводящих системах включала случаи рака пищевода, желудка, почек, поджелудочной железы, метастазов в забрюшинные лимфоузлы и малого таза, рака анального канала, предстательной железы, ЗНО женской репродуктивной системы, мочевого пузыря, прямой кишки.

Результаты

Все данные были получены в результате проведения КТ-топометрии, позволяющей определить объемы опухоли и здоровые органы. Система планирования (СП) позволяет подгружать серии снимков позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ), которые в последующем интегрируются с серией снимков КТ-топометрии с помощью технологии Fusion. В результате создается объединенный файл – Fusion Image, состоящий из сопоставленных снимков двух видов исследований. База данных состоит из 3000 наборов данных: 1000 – головной мозг, 1000 – брюшная полость, 500 – малый таз мужской, 500 – малый таз женский. Наборы данных являются несбалансированными, так как количество снимков в каждом классе существенно различается, что может негативно сказываться на распознавательной способности алгоритмов глубокого обучения.

Далее планируется разделение всей выборки на обучающую, валидационную и тестовую выборки. В обучающую выборку будут включены 70 % изображений, что составляет 2100 наборов, выбранных случайным образом. Для валидации из обучающей выборки также случайным образом будет выбрано 20 % изображений. Оставшиеся 300 наборов будут использованы для тестирования.

Анализ существующих методик оконтуривания в лучевой терапии

Современная практика (ЛТ) зависит от методов оконтуривания, которые важны для определения границ зоны облучения. В клинической практике используются ручные и автоматизированные методики оконтуривания. Ручное оконтуривание требует участия врача, который определяет контуры опухоли и окружающих тканей на основе визуальных данных. Автооконтуривание в СП автоматизирует процесс, но результаты часто требуют редактирования в связи с наличием нечеткости границ структур [3]. Алгоритмы могут не всегда правильно дифференцировать опухолевые и здоровые ткани, что увеличивает риск недостаточного или избыточного лучевого воздействия на здоровые ткани.

Таким образом, несмотря на прогресс в автоматизации оконтуривания, необходимо

повышать точность алгоритмов и ручных методов. Сочетание ручных и автоматических методик с применением технологий ИИ может улучшить оконтуривание и минимизировать вызванные человеческим фактором ошибки.

Модальности различных локализаций в лучевой терапии

Основной модальностью для планирования лучевой терапии органов брюшной полости и малого таза, как и в случае с головным мозгом, является КТ. Однако данные МРТ, благодаря применению контрастирования мягких тканей, позволяют лучше визуализировать структуры, что делает их ценным инструментом для уточнения границ. Но при этом необходимо учитывать не только отличные параметры МРТ-сканирования, но и различия между самими МРТ-сканерами и их режимами работы. Данные МРТ могут поступать из множества сканеров различных типов, каждый из которых может иметь свои технические особенности и данные отличающихся режимов исследования, таких как T_1 -взвешенные и T_2 -взвешенные последовательности (наборы параметров сканирования). Эти последовательности характеризуются разными типами контрастности изображений, что приводит к вариативности в визуализации тканей. Такие различия между сканерами и последовательностями требуют специальных методов подготовки данных и обучения моделей искусственного интеллекта, чтобы обеспечить устойчивость и надежность алгоритмов в условиях таких вариаций.

Головной мозг

При подготовке к проведению курса ЛТ радиотерапевты оконтуривают критические структуры, лучевую нагрузку на которые необходимо в дальнейшем оценить и сопоставить с толерантными значениями. В работе выделено три локализации: головной мозг, брюшная полость и малый таз. Для каждой локализации выделены структуры, которые необходимо оконтурить при подготовке к ЛТ. Данные представлены ниже в виде таблиц (табл. 1–6).

Анатомия головного мозга весьма сложна, и структуры, выявляемые при МРТ, часто плохо различимы по данным КТ. Кроме того, качество изображений может значительно

Таблица 1

Критические структуры, оконтуренные в головном мозге, на примере облучения всего объема головного мозга (режим ЛТ “Whole Brain Radiation Therapy”)

BODY	Область тела пациента
Bones	Кости
Brain	Мозг
BrainStem	Ствол мозга
BrainStem_PRV	Ствол мозга Pulseratevariability (+6 мм к контуру ствола мозга)
Cochlea_L	Ушная раковина Левая
Cochlea_L_PRV	Ушная раковина ЛевоеPulseratevariability (+6 мм к контуру)
Cochlea_R	Ушная раковина Правая
Cochlea_R_PRV	Ушная раковина Правая Pulseratevariability (+6 мм к контуру)
Eye L	Левое глазное яблоко
Eye R	Правое глазное яблоко
Hipposampi	Гиппокамп
Lens_L	Левый хрусталик
Lens_R	Правый хрусталик
OpticChiasm	Перекрест зрительных нервов
OpticChiasm_PRV	Перекрест зрительных нервов Pulseratevariability(+6 мм к контуру)
OpticNerve_L	Зрительный нерв Левый
OpticNerve_L_PRV	Зрительный нерв Левый Pulseratevariability (+6 мм к контуру)
OpticNerve_R	Зрительный нерв Правый
OpticNerve_R_PRV	Зрительный нерв Правый Pulseratevariability (+6 мм к контуру)
SpinalCord	Спинной мозг
SpinalCord_PRV	Спинной мозг Pulseratevariability (+6 мм к контуру спинного мозга)

варьировать в зависимости от толщины среза и плоскости сканирования, а также последовательности МРТ. Радиотерапевт обязан уделять особое внимание деталям и четко оконтуривать критическим структурам, такие как ствол головного мозга, хрусталик и глазные яблоки, зрительные нервы, улитки, гиппокамп (табл. 1, 2, рис. 1) [4].

МРТ широко известна своей способностью создавать высокодетальные изображения мягких тканей, благодаря использованию сильных магнитных полей и радиоволн. Это делает МРТ особенно полезной для визуализации головного мозга, где важно дифференцировать

Таблица 2

Облучаемые объемы, оконтуренные в головном мозге

GTV	GrossTumorVolume – макроскопический объем опухоли
GTVp_CT	GrossTumorVolumeofprimary (по КТ) – макроскопический объем опухоли (КТ)
GTVp_MR	GrossTumorVolumeofprimary (по МРТ) – макроскопический объем опухоли (МРТ)
GTVp_PT	GrossTumorVolumeofprimary (по ПЭТ) – макроскопический объем опухоли (ПЭТ)
CTV	ClinicalTargetVolume – клинический объем мишени
PTV	PlanningTargetVolume – планируемый объем мишени

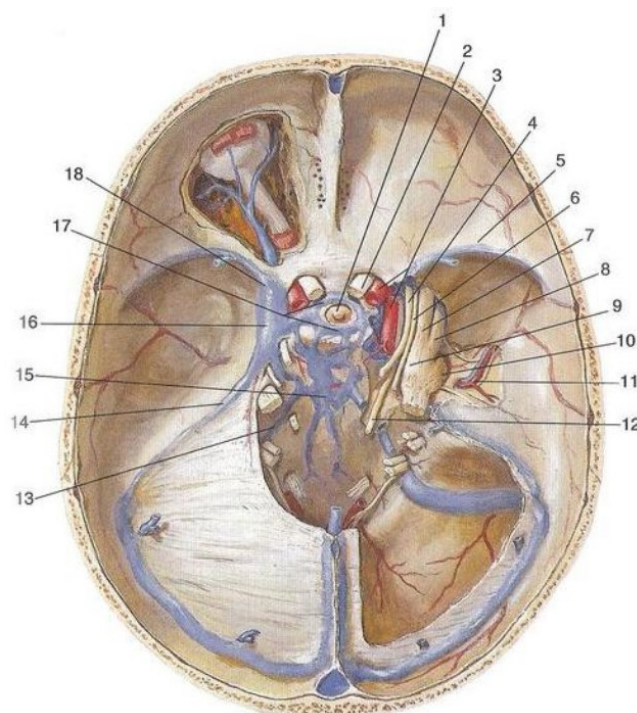


Рис. 1. Синусы твердой мозговой оболочки (вид сверху): 1 – гипофиз; 2 – зрительный нерв; 3 – внутренняя сонная артерия; 4 – глазодвигательный нерв; 5 – клиновидно-теменной синус; 6 – блоковый нерв; 7 – глазной нерв; 8 – верхнечелюстной нерв; 9 – тройничный узел; 10 – нижнечелюстной нерв; 11 – средняя менингеальная артерия; 12 – отводящий нерв; 13 – нижний каменистый синус; 14 – верхний каменистый синус, сигмовидный синус; 15 – базиллярное венозное сплетение; поперечный синус; 16 – пещеристый венозный синус, сток синусов; 17 – передний и задний межпещеристые синусы; 18 – верхняя глазная вена



Рис. 2. Fusion Image (совмещение снимков разметочного КТ и снимков МРТ)

типы тканей, таких как серое вещество, белое вещество, спинномозговую жидкость. Однако у МРТ есть свои ограничения, связанные с большими временными затратами создания изображений в сравнении с КТ [5]. На рис. 2–4 представлены совмещенные снимки разметочного КТ и МРТ, используемые при оконтуривании объемов и критических органов при облучении головного мозга.

В задачах сегментации опухолей головного мозга модели часто оцениваются с использованием комбинации Accuracy (достоверность, аккуратность), Recall, или Sensitivity (полнота, чувствительность), Specificity (специфичность), F-score (F-мера), а также специализированных метрик, таких как DSC и HD (коэффициент сходства Дайса и расстояние Хаусдорфа). Эта комбинация обеспечивает надежную оценку, учитывая как границы, так и объемные свойства опухолей. Метрики на уровне поражений, такие как lesion-wise DSC и 95HD (дискриминация по поражениям или по очагам с использованием коэффициента сходства Дайса и 95-го перцентиля расстояния Хаусдорфа), все чаще используются для оценки качества модели на уровне отдельных поражений, что дает более детальное представление о точности сегментации в сценариях с несколькими очагами. В недавнем исследовании в клинических исследованиях BraTS 2023 модели глубинного обучения Tumor Det Net [6] были использованы для оценки способности классифицировать различные типы опухолей с высокой точностью. В

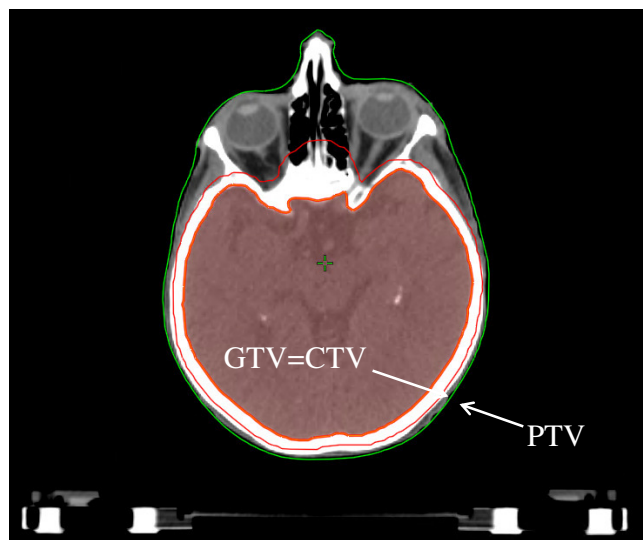


Рис. 3. Определение облучаемых объемов головного мозга в режиме “WholeBrainRadiationTherapy” – CTV и PTV

рамках обучения простых моделей, таких как U-Net (архитектура нейронной сети), возможно использовать изображения на основе модели HaN-Seg (Hierarchical Attention Network for Segmentation) в целях успешного сегментирования анатомических структур, таких как, например, глазные яблоки. Тем не менее, ни одно из представленных решений не достигло удовлетворительных результатов в задаче сегментации перекреста зрительных нервов. Для этой задачи применялись стандартизированные МРТ-изображения с толщиной срезов МРТ не

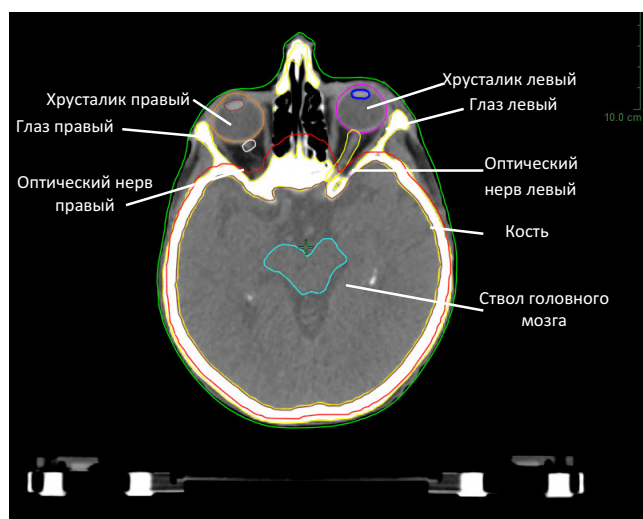


Рис. 4. Определение объемов критических органов при облучении головного мозга в режиме “WholeBrainRadiationTherapy”

Таблица 3

**Сводные литературные данные для опухолей головы-шеи по модальностям
диагностических данных на этапе подготовки больных к ЛТ**

Название набора данных	Число случаев	Модальности	Размер матрицы	Количество срезов	Размер воксела	Число органов в зоне риска
GLIS-RT Shusharina and Bortfeld (2021)	230	MPT (T_{1c} , 2D T_2 -FLAIR)	–	–	–	6–12
Burdenko-GBM-ProgressionZolotova (2023)	180	MPT (T_1 , T_{1c} , T_2 , T_2 -FLAIR), КТ	–	–	–	8
MindboggleKleinetal. (2017)	101	MPT (T_1)	–	–	–	4
HaN-SegPodobnik et al. (2022)	42	MPT (T_1), КТ	КТ: 512×512; 1024×1024 MPT: 512×512	КТ: 116~323 MPT: 40~152	2×0,47×0,47 ~ 5×1,56×1,56	30
SegRapAstarakieta. (2023)	400	КТ	КТ: 512×512; 1024×1024	–	3×0,43×0,43 ~ 3×1,34×1,34	45
StructSegShi (2019)	60	КТ	–	–	–	22
TangTangetal. (2019)	140	КТ	–	–	2,5×2×3	28

менее 5 мм, которые ко-регистрировались с КТ. Сочетание данных МРТ и КТ показало улучшенные результаты, но этого недостаточно для разработки эффективного медицинского программного обеспечения. Учитывая возможность отсутствия МРТ-исследований пациента, были рассмотрены методы, использующие исключительно данные КТ. Для анализа изображения головного мозга применялся набор данных, специально разработанный для задач сегментации и анализа изображений – SegRap (Segmentation for Rapid Annotation of Pathology), состоящий из 400 КТ-сканов. Как продемонстрировано в предыдущих исследованиях, подобный объем данных в некоторых случаях оказывается достаточным для получения приемлемых результатов сегментации различных структур мозга. Однако низкий контраст КТ-изображений при сегментации сложных анатомических структур, таких как перекрест зрительных нервов, ограничивает точность.

Таким образом, успешное обучение нейронной сети на основе КТ-изображений требует использования более сложных моделей, способных работать со структурами с низким контрастом. Увеличение сложности модели влечёт за собой потребность в большем количестве данных для её обучения. Учитывая результаты предыдущих исследований и требования к точности, минимальное количество КТ-серий, необходимое для обучения модели на каж-

дом органе, следует оценивать как не менее 500, хотя для более сложных структур, таких как перекрест зрительных нервов, может потребоваться значительно больше данных. Тем не менее, для большинства основных анатомических структур подобный объем данных может считаться достаточным.

Для повышения точности сегментации также могут быть использованы серии МРТ-изображений, представленные одной из следующих последовательностей: T_{1w} , T_{1c} , T_{2w} или T_2 -FLAIR. Стоит отметить, что количество различных последовательностей и их комбинаций для одного пациента может значительно варьировать. Поскольку контуры фиксируются только по КТ-сериям, для определённого количества КТ-серий из предыдущего пункта необходимо наличие хотя бы одной последовательности МРТ (табл. 3).

Брюшная полость и малый таз

Органы брюшной полости и малого таза имеют сходство относительно друг друга, ввиду их частичного пересечения, поэтому для обеих зон будут одинаковые требования по их количеству. В большинстве исследований для сегментации органов брюшной полости и малого таза используется от нескольких сотен до нескольких тысяч КТ- и МРТ-сканов, что позво-

ляет моделям достигать приемлемой точности при распознавании сложных анатомических структур. Необходимое количество данных сильно варьирует от органа к органу ввиду их разницы в структурах разных органов. Основываясь на других исследованиях, необходимое количество данных для обучения модели также оценивается в 400 случаев для каждой отдельной локализации [7]. Отдельные сложные органы могут потребовать большего количества аннотированных данных, однако для основной части органов такого количества будет достаточно. Также отметим, что нет исследований по автоматической сегментации отдельных органов, что не позволяет в полной мере оценить необходимое количество данных для сегментирования.

Анализ органов брюшной полости требует особого внимания из-за разнообразия анатомических структур и их изменчивости и уникальности для каждого пациента в разные моменты времени. Важным аспектом является прицельное оконтуривание жизненно важных органов и патологических образований для планирования ЛТ.

Органы брюшной полости и малого таза могут претерпевать значительные изменения в зависимости от состояния и положения пациента. Например, объем легких может быть различным по своей величине в зависимости от фазы дыхания, состояние кишечника зависит от наличия газов или калового содержимого. Описанные анатомические вариации требуют разработки методов, устойчивых к такому роду изменений, а также учета временной изменчивости органов при анализе данных. Нужно также упомянуть анатомическое разнообразие: множество органов, таких как печень, желудок и почки, могут отличаться по форме и размеру у разных людей, что затрудняет задачу оконтуривания. Расположение и наполнение кишечника могут варьировать, создавая дополнительные трудности для автоматической сегментации.

Брюшная полость

Процесс оконтуривания объемов облучения и критических органов осуществляется после создания совмещенных данных разметочной серии КТ-изображений органов брюшной полости с данными других диагностических исследований (МРТ ОБП с в/в контрастированием или ПЭТ/КТ всего тела с туморотропным РФП). В определенных клинических ситуа-

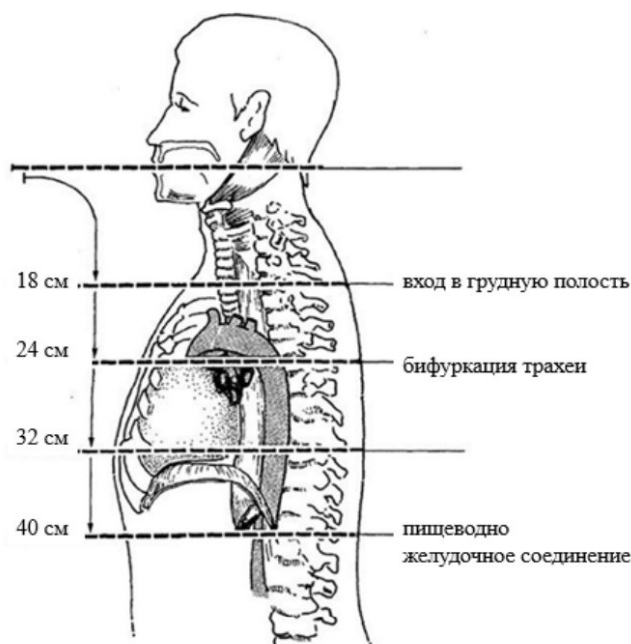


Рис. 5. Анатомические ориентиры деления пищевода на отделы: шейный, верхнегрудной, среднегрудной, нижнегрудной

циях, например, при создании плана ЛТ рака поджелудочной железы или метастазов в печень, в целях лучшей визуализации мишеней и дифференцировки органов, перед проведением разметочной КТ может быть выполнено дополнительное внутривенное и/или пероральное введение контрастных препаратов.

Рассмотрим локализацию брюшной полости на примере ниже-грудного отдела пищевода, границы отделов пищевода и критические органы (рис. 5, табл. 4, 5), которые включают:

- ✓ Шейный: от перстневидного хряща до входа в грудную клетку – 5–18 см от резцов.
- ✓ Верхний грудной: от входа в грудную клетку до бифуркации трахеи – 18–24 см.
- ✓ Средне-грудной: от бифуркации трахеи до участка выше гастро-эзофагеального соустья – 24–32 см.
- ✓ Нижне-грудной: гастро-эзофагеальное соустье – 32–40 см.

Критические органы, которые необходимо оконтурить:

- ✓ легкие (по отдельности);
- ✓ сердце;
- ✓ спинной мозг;
- ✓ пищевод на всем протяжении (для анализа гистограммы дозы-объем) [8].

Таблица 4

**Оконтуренные критические структуры
на примере планирования ЛТ пациента
с ЗНО пищевода**

Aorta	Аорта
Bladder	Мочевой пузырь
BODY	Область тела пациента
Bones	Кости
Bowelbag	Тонкий кишечник
Bowel_Bag	Тонкий кишечник
BrachialPlexs	Брахимальный сплетение
BrachialPlexus_L	Брахимальный сплетение Левое
BrachialPlexus_R	Брахимальный сплетение Правое
BrainStem	Ствол мозга
BrainStem_PRV	Стволмозга Pulse rate variability (+6 ммконтур)
Carina	Карина
Cauda_Equina	Конский хвост
Cauda_Equina_PRV	Конский хвост Pulseratevariability (+6 мм к контуру)
CaudaEquina	Конский хвост
CaudaEquina_PRV	Конский хвост Pulseratevariability (+6 мм к контуру)
Cochlea_L	Ушная раковина Левая
Cochlea_R	Ушная раковина Правая
Colon	Ободочная кишка
Duodenum	Двенадцатиперстная кишка
Esophagus	Пищевод
Eye_L	Левый глаз
Eye_R	Правый глаз
Femur_Head_L	Головка бедренной кости Левая
Femur_Head_R	Головка бедренной кости Правая
Femur_Heads	Головки бедренных костей
GlnD_Thyroid	Щитовидная железа
Heart	Сердце
Jejunum_Ileum	Тонкая кишка (или подвздошная)
Kidney_L	Почка Левая
Kidney_R	Почка Правая
Kidneys	Почки
Larynx	Гортань
Lens_L	Левый хрусталик
Lens_R	Правый хрусталик
Liver	Печень
Lobe_Temporal	Височная доля
Lung_L	Левое легкое
Lung_R	Правое легкое
Lungs	Легкие
Mandible_bone	Челюсть
Musc_Constrict	Мышцы сжатия
OpticChiasm	Перекрест зрительных нервов
OpticChiasm_PRV	Перекрест зрительных нервов Pulseratevariability (+6 мм к контуру)
OpticNerve_L	Зрительный нерв Левый
OpticNerve_R	Зрительный нерв Правый
Oral_Cavity	Полость рта
Pancreas	Поджелудочная железа
Parotid_L	Околоушная железа Левая
Parotid_R	Околоушная железа Правая
Parotids	Околоушные железы
Rectum	Прямая кишка
Renal_Cortex	Корковое вещество почки
Renal_Hilum	Хилус почки
Ribs	Ребра
Skin	Кожа
SpinalCord	Спинальный мозг
SpinalCord_PRV	Спинальный мозг Pulseratevariability (+6 мм к контуру)
SpinalCord_PRV05	Спинальный мозг Pulseratevariability (+5 мм к контуру)
Spleen	Селезенка
Stomach	Желудок
Submandibular_L	Поднижнечелюстная железа Левая
Submandibular_R	Поднижнечелюстная железа Правая

Таблица 5

**Облучаемые объемы, оконтуренные
в брюшной полости на примере пищевода**

GTV	GrossTumorVolume – макроскопический объем опухоли
GTVn	GrossTumorVolume – макроскопический объем
GTVp_CT	GrossTumorVolume of primary – макроскопический объем (поКТ)
GTVp_MR	Gross Tumor Volume of primary – макроскопический объем (поМРТ)
GTVp_PT	Gross Tumor Volume of primary – макроскопический объем (поПЭТ)
CTV	ClinicalTargetVolume – клинический объем мишени
CTVn	Clinical Target Volume – клинический объем
CTVp	ClinicalTargetVolumeofprimary – клинический объем первичной опухоли
PTV	PlanningTargetVolume – планируемый объем мишени

Далее представлены примеры выбора облучаемых объемов и критических органов брюшной (Ventral) полости (рис. 6, 7).

В статье [9] были получены метрики оценки Dice Score (коэффициент сходства Дайса) для сегментации двенадцатиперстной кишки, равные 0,84 по данным МРТ из исследования NAKO (National Cohort Study of Health); 0,64 по данным также МРТ AMOS22 (Abdominal Multi-Organ Segmentation Challenge) и 0,8 по данным КТ AMOS22 (Abdominal Multi-Organ Segmentation Challenge). Это показывает различные

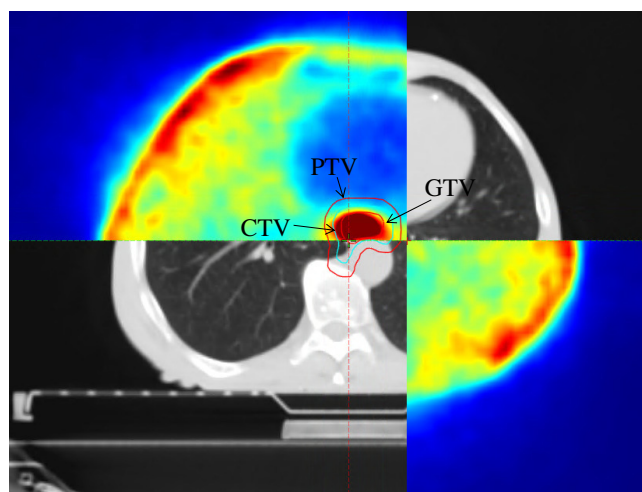


Рис. 6. Выбор облучаемых объемов пищевода: выделенные объемы GTV, CTV, PTV

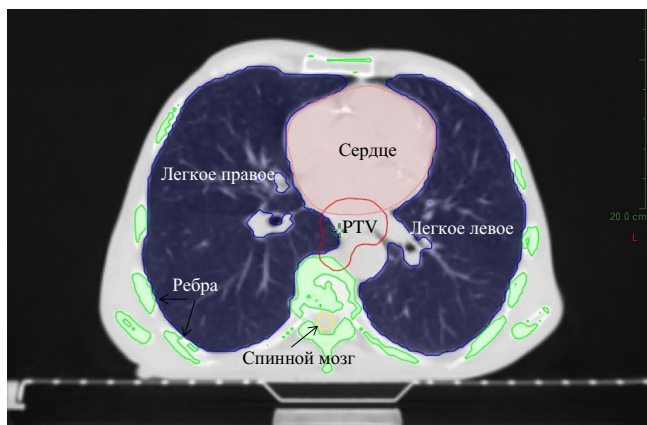


Рис. 7. Оконтурированные критические органы при раке пищевода в системе планирования Eclipse

уровни точности в зависимости от используемого набора данных.

Исследование [10] продемонстрировало успешное применение архитектуры модели SegVol (Segmented Volumetric) с механизмом “zoom-out-zoom-in” (масштабирование для более детального изучения структур) для повышения точности сегментации. В этом исследовании использовался набор данных с 90 000 КТ-сканов, из которых 6 000 были аннотированы. Средний Dice Score (среднее значение показателя коэффициента сходства Дайса) для сегментации аорты составил 0,75, что указывает на умеренную точность модели в данной задаче.

В статье [11] был представлен новый подход на основе большого набора данных для обучения и повторного обучения (Multi-Dataset Learning and re-Training), который нацелен на создание универсальной модели для медицинской сегментации изображений. Эта модель способна сегментировать различные структуры, включая двенадцатиперстную кишку. Модель Multi Talent была обучена на 13 наборах данных абдоминальных КТ-сканов, которые содержали 47 классов, с общим количеством серий равным 1 500. Она продемонстрировала улучшенные результаты сегментации по сравнению с моделями, обученными на каждом наборе данных отдельно, а также использующими несколько наборов данных для обучения. В исследовании рассматривались различные архитектуры, такие как nnU-Net (архитектура автоматически адаптируемой модели), Swin U-Net (архитектура сдвинутых окон для обработки изображений), Resenc U-Net (архитектура с

использованием остаточных блоков для передачи информации через слои) и Swin UNETR (архитектура сдвинутых окон с объединением с U-net с механизмами трансформеров). Средний Dice Score для сегментации двенадцатиперстной кишки составил 0,76, что подтверждает умеренную точность Multi Talent в этой задаче.

Малый таз

На рис. 8 представлены анатомические структуры малого таза.

Проведение диагностической МРТ с контрастированием является обязательным условием для проведения курса дистанционной ЛТ опухолей, расположенных в области малого таза. Данный диагностический метод обладает высокой чувствительностью и специфичностью в определении опухолей данной локализации, а также позволяет оптимально дифференцировать анатомические границы здоровых органов и тканей. Лишь в условиях, когда пациенту противопоказано проведение МРТ с контрастным усилением, данный метод может быть заменен на КТ с или без в/в контрастированием. Стоит отметить, что в определенных клинических ситуациях, когда по данным МРТ опухолевые очаги не определяются, но при этом обнаруживается метаболически активный патологический субстрат, выявляемый по данным ПЭТ/КТ всего тела с туморотропным РФП, данные последнего могут быть использованы для создания оптимального плана лучевой терапии.

На рис. 9–11 представлены снимки разметочных КТ и МРТ, используемые при оконтур-

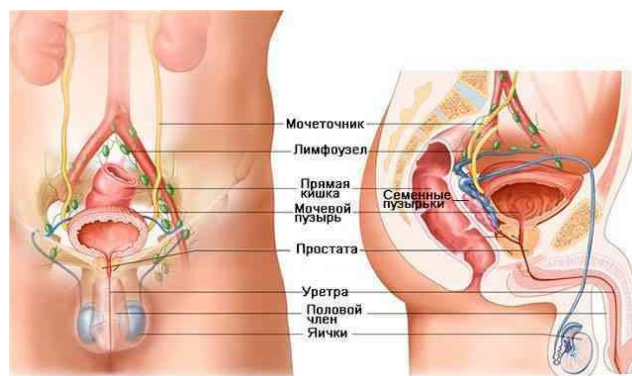


Рис. 8. Анатомические структуры малого таза

Таблица 6
Подлежащие оконтуриванию критические
структуры в малом тазу на примере
облучения мочевого пузыря

Bladder	Мочевой пузырь
Bladder_Wall	Стена мочевого пузыря
BODY	Область тела пациента
Bones	Кости
Bowel_Bag	Тонкий кишечник
CaudaEquina	Конский хвост
CaudaEquina_PRV	Конский хвост PulseRateVariability (+6 мм к контуру)
Colon_Sigmoid	Сигмовидная кишка
Femur_Head_L	Головка бедренной кости Левая
Femur_Head_R	Головка бедренной кости Правая
Femur_Heads	Головки бедренных костей
Femur_Heads_L	Головки бедренных костей Левая
Femur_Heads_R	Головки бедренных костей Правая
Rectum	Прямая кишка
Skin	Кожа
Spinal_Cord	Спинальный мозг
Spinal_Cord_PRV	Спинальный мозг PulseRateVariability (+6 мм к контуру)
SpinalCord	Спинальный мозг
SpinalCord_PRV	Спинальный мозг PulseRateVariability (+6 мм к контуру)

ривании объемов и критических органов при облучении опухоли мочевого пузыря (табл. 6).

Методика оконтуривания с использованием ИИ включает в себя обработку предварительно полученных медицинских изображений (например, КТ и МРТ) с применением алгоритмов глубокого обучения. Эти алгоритмы обучаются на больших объемах данных, что позволяет их идентифицировать и оконтуривать опухолевые образования и органы-мишени с высокой степенью точности. После автоматического оконтуривания врач может просмотреть результаты и внести необходимые коррективы, если это требуется.

Сегментация мочевого пузыря является важной задачей в планировании лечения заболеваний органов брюшной полости. В исследовании [12] использовалась сверточная нейронная сеть (CNN) для автоматической сегментации целевого объема и органов риска при раке прямой кишки. Набор данных включал 105 па-

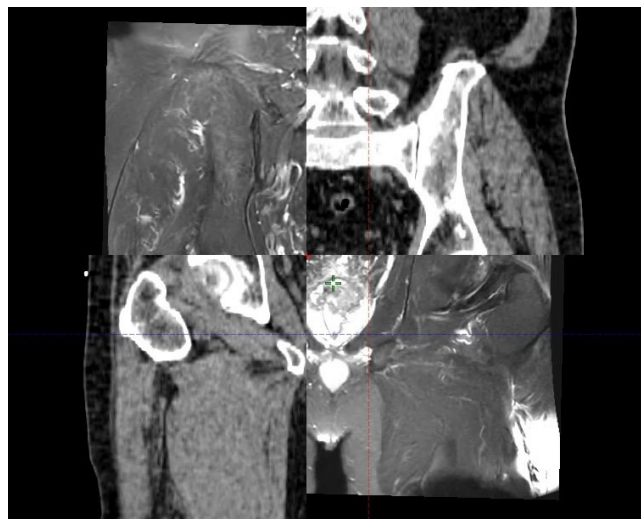


Рис. 9. Fusion Image (наложение снимков разметочного КТ и снимков МРТ) – фронтальный вид

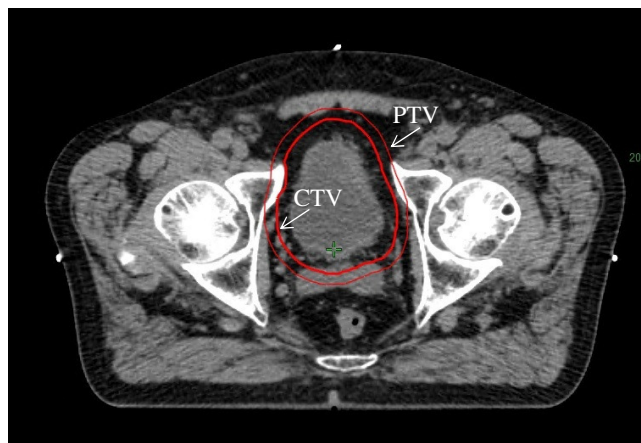


Рис. 10. Выбор облучаемых объемов мочевого пузыря (выделенные объемы GTV, CTV, PTV)

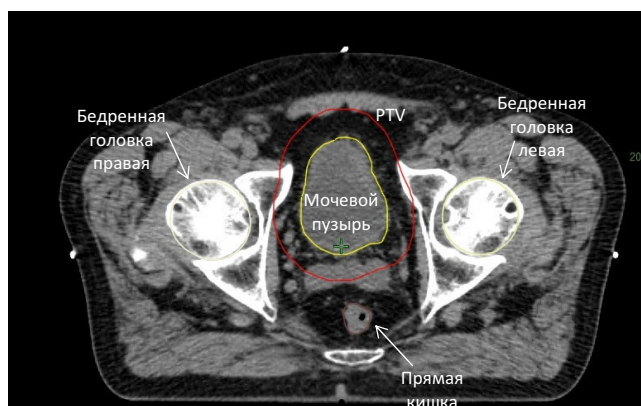


Рис. 11. Оконтуренные критические органы при раке мочевого пузыря в системе

пациентов раком прямой кишки. Средний Dice Score для сегментации мочевого пузыря составил 0,90, что указывает на высокую точность сегментации и приемлемость автоматических контуров для клинического применения.

В исследовании [13] использовалась архитектура D-Net (архитектура нейронной сети для сегментации изображений), состоящая из динамических крупных свёрточных ядер (Dynamic Large Kernel, DLK) и модуля динамического слияния признаков (Dynamic Feature Fusion, DFF), что позволило значительно улучшить качество сегментации. Набор данных включал 300 КТ-сканов из исследования MICCAI (The Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention Society) 2021 AMOS Challenge (Abdominal Multimodal Analysis Challenge). Средний Dice Score для сегментации мочевого пузыря составил 0,91, что подчеркивает эффективность предложенного подхода.

В исследовании [10] была использована архитектура Seg Vol, поддерживающая как пространственные, так и семантические подсказки для интерактивной сегментации. В набор данных вошли 90 000 не аннотированных КТ-серий и 6 000 аннотированных КТ-серий. Средний Dice Score для сегментации мочевого пузыря составил 0,91, что свидетельствует о высоком качестве сегментации. Использование механизма zoom-out-zoom-in позволило модели эффективно и точно выполнять сегментацию объемных изображений.

В статье [14] было показано, что автоматическая сегментация внутренней и наружной стенки при МРТ представляет собой сложную задачу из-за значительных изменений формы мочевого пузыря, неоднородности интенсивности в моче, вызванной артефактами движения, слабых границ и сложного распределения интенсивности фона. Эти факторы усложняют точное определение границ и требуют использования современных методов глубокого обучения для повышения точности. Для сегментации стенок мочевого пузыря применялись различные архитектуры глубокого обучения, включая FCN (Fully Convolutional Networks), U-Net, и V-Net (3D сегментация данных). Dice Score для многих методов сегментации стенок мочевого пузыря на основе глубоких нейронных сетей достигает значений 0,99. Тем не менее, не все работы смогли получить настолько хорошие результаты, поэтому средний Dice Score по 10 работам составил 0,9.

Искусственный интеллект способен значительно повысить уровень автоматизации в процессе тривиального оконтуривания, что в свою очередь может сократить время на обработку данных и повысить точность оконтуривания. Литературные данные показывают, что применение ИИ в лучевой терапии достигает значительных результатов: автоматизированные методы показывают сравнимые или даже превосходящие результаты по сравнению с ручным оконтуриванием, что подтверждается рядом исследований. Применение ИИ в процессе оконтуривания способствует повышению эффективности и точности лечения, а также снижению нагрузки на врачей. Это обеспечивает более быстрый и качественный процесс подготовки к облучению, что, в свою очередь, может привести к улучшению исходов лечения и повышению уровня безопасности пациентов.

Обсуждение

Автоматизация процесса оконтуривания органов и опухолей с использованием искусственного интеллекта (ИИ) является ключевой задачей для повышения эффективности и точности ЛТ. Методы глубокого обучения позволяют ускорить топометрическую подготовку для дальнейшего планирования ЛТ. В последние годы нейронные сети существенно изменили подходы к анализу медицинских изображений, предлагая новые эффективные решения для классификации, сегментации и распознавания изображений. Эти методы значительно влияют на обработку медицинских данных, обеспечивая быструю и точную сегментацию структур, что важно для ЛТ. Подготовка данных включает процедуры нормализации интенсивности, процессы изменения размерности выборки данных (ресемплинга) и процессы создания новых измененных данных на основе существующих (аугментации), что повышает точность и надежность алгоритмов в процессе обучения и распознавания. Эти этапы помогают улучшить однородность данных, снизить искажения и адаптировать модели к различным клиническим ситуациям, что особенно важно для 3D-обработки медицинских данных, таких как МРТ и КТ.

В клинической практике автоматизация оконтуривания с применением ИИ демонстрирует наибольшую ценность в минимизации вреда здоровым тканям. Например, при анали-

зе головного мозга требуются специализированные алгоритмы, которые способны точно распознавать структурные и контекстные особенности, чтобы защитить жизненно важные функциональные зоны от избыточного облучения.

При сегментации органов брюшной полости и малого таза важно учитывать анатомическое разнообразие и высокую вариативность в зависимости от состояния пациента. Адаптивные алгоритмы, которые учитывают временные и физиологические изменения, позволяют более точно оконтурить критически важные структуры и опухоли, снижая риск для пациента. В этой связи акцентируется внимание на разработке устойчивых алгоритмов, которые способны адаптироваться к различным параметрам МРТ- и КТ-сканов, что обеспечивает их надежность и точность.

Современные архитектуры, такие как модифицированные U-Net, Mask R-CNN (архитектура генерации масок объектов), UNETR (архитектура с симметричной структурой кодировщика-декодировщика с включением элементов трансформеров) и Conv Ne Xt (архитектура новой «эволюции» сверточной сети), предоставляют эффективные методы интеграции пространственных и семантических признаков в анализ данных, включая работу с мультимодальными данными (КТ и МРТ). Эти модели дополнены методами самообучения и полуручного обучения, что повышает точность и снижает зависимость от ручной разметки, повышая надежность и клиническую применимость решений на основе ИИ. Эти подходы уже успешно внедряются в клиническую практику через автоматизированные системы для ЛТ. На рынке доступны решения, такие как Limbus AI, MIM Maestro и RayStation, которые объединяют ИИ, облачные технологии и адаптивное оконтуривание. Эти системы обеспечивают высокую производительность, а также гибкость настройки и совместимость с клиническими стандартами, что улучшает качество планирования и эффективность радиотерапевтических процедур, уменьшая ручные затраты и упрощая документооборот.

Выводы

Внедрение технологий ИИ и методов глубокого обучения в процесс оконтуривания органов и опухолей значительно повышает точ-

ность подведения дозы к опухоли. Автоматизация данного процесса не только оптимизирует топометрическую подготовку и упрощает планирование радиотерапевтических процедур, но и минимизирует риски облучения жизненно важных структур. Внедрение автоматизированных систем ИИ открывает новые горизонты для ЛТ, обеспечивая гибкость настройки и улучшая качество планирования облучения больных. Кроме этого, внедрение ИИ ускорит процедуру внедрения стандартов оконтуривания на этапе предлучевой подготовки онкологических больных в профильных учреждениях.

Список литературы

1. <https://www.who.int/ru>.
2. Seyfried TN, Huysentruyt LC On the origin of cancer metastasis. Crit Rev Oncog. 2013; 18 (1-2): 43-73. <https://doi.org/10.1615/critrevoncog.v18.i1-2.40>.
3. Brouwer C, Boukerroui D, Oliveira J. et al. Assessment of manual adjustment performed in clinical practice following deep learning contouring for head and neck organs at risk in radiotherapy. Physics and Imaging in Radiation Oncology. 2020 Oct 14; 16: 54-60. <https://doi.org/10.1016/j.phro.2020.10.001>.
4. Горчаков ВН, Сергеева ИГ, Тулупов АА. Нейрохирургическая анатомия головного мозга: Учебное пособие. Новосибирск. 2015. 124.
Gorchakov VN, Sergeeva I G, Tulupov AA. Neurosurgical anatomy of the brain: Atutorial. Novosibirsk. 2015; 124 (In Russ).
5. Devic S. MRI simulation for radiotherapy treatment planning. Med Phys. 2012; 39 (11): 6701-11. <https://doi.org/10.1118/1.4758068>.
6. Ullah N, Javed A, et al. A unified deep learning model for brain tumor detection and classification. PLoS One. 2023; 18 (9): e0291200. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0291200>.
7. Kart T, Fischer M, et al. Deep learning based automated abdominal organ segmentation in the UK Biobank and German National Cohort magnetic resonance imaging studies. Investigative Radiology. 2021 Jun 1; 56 (6): 401-8. <https://doi.org/10.1097/RLI.0000000000000755>.
8. Деньгина Н, Лихачева А, Митин Т, Усыйчкин С, Черных М, Панкратов А. Краткие методи-

- ческие рекомендации по лучевой терапии опухолей головного мозга. RUSSCO, 2017.
9. Haentze H. et al. MRSegmentator: Robust Multi-Modality Segmentation of 40 Classes in MRI and CT. MRSegmentator. November 18, 2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.06463>.
 10. Du Y, et al. Segvol: Universal and interactive volumetric medical image segmentation. 38th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2024). 12 Feb. 2025. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2311.13385>.
 11. Ulrich C, et al. Multitalent: A multi-dataset approach to medical image segmentation. International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention – MICCAI. 2023; 648-58. https://doi.org/10.1007/978-3-031-43898-1_62.
 12. Huang Y, et al. Clinical evaluation of the convolutional neural network-based automatic delineation tool in determining the clinical target volume and organs at risk in rectal cancer radiotherapy. Oncology Letters. 2024; 28 (5): 539. <https://doi.org/10.3892/ol.2024.14672>. eCollection 2024 Nov.
 13. Yang J, et al. D-net: Dynamic large kernel with dynamic feature fusion for volumetric medical image segmentation. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.10674>.
 14. Bandyk MG, et al. MRI and CT bladder segmentation from classical to deep learning based approaches: Current limitations and lessons. Computers in Biology and Medicine. 2021; 134: 104472. <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2021.104472>. Epub. 2021 May 18.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 19.03.2025. Принята к публикации: 10.06.2025.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 19.03.2025. Accepted for publication: 10.06.2025.

ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ТРЁХМЕРНОГО МАССИВА ДЕТЕКТОРОВ К СПЕЦИАЛЬНО ВНЕДРЁННЫМ ОШИБКАМ В ПАРАМЕТРАХ МЛК ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ С МОДУЛЯЦИЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

Ю.С. Ларькин, Т.А. Крылова, И.М. Лебеденко, М.П. Шатенок
Национальный медицинский исследовательский центр онкологии
им. Н.Н. Блохина Минздрава России, Москва

ASSESSMENT OF THE SENSITIVITY OF A THREE-DIMENSIONAL ARRAY OF DETECTORS TO SPECIALLY INTRODUCED ERRORS IN THE MLC PARAMETERS DURING INTENSITY MODULATION RADIATION THERAPY

Y.S. Larkin, T.A. Krylova, I.M. Lebedenko, M.P. Shatenok
N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Moscow, Russia

Реферат

Цель: Оценить чувствительность трехмерного массива детекторов Arc Check к специально внедренным ошибкам в параметрах МЛК при проведении ЛТМИ.

Материал и методы: Проведена верификация планов облучения как с ошибками, так и без внедренных ошибок на аппарате Clinac 6 EX (Varian, США) с помощью трехмерного массива детекторов Arc Check (Sun Nuclear, США).

Результаты: Подготовлены планы ЛТМИ на СП Eclipse для различных локализаций в соответствии с рекомендациями AAPM TG 119. Созданы и внедрены ошибки в положения пластин МЛК для дальнейшего внедрения в планы ЛТМИ. Разработана компьютерная программа на базе кода C++ для автоматического внедрения ошибок в файлы МЛК. Проведен анализ результатов верификации и оценена чувствительность системы Arc Check к ошибкам в параметрах МЛК.

Заключение: Показано, что чувствительность Arc Check к внедренным ошибкам зависит от вида ошибки. Чувствительность к детектированию специально внедренных ошибок возрастает при использовании более строгого гамма-критерия и при увеличении значения сдвига. Выявлены ошибки во всех планах для ошибок первого и второго типа при отклонениях 2 мм и 4 мм. Наблюдается слабая чувствительность для ошибок двух типов при сдвиге пластин МЛК на 1 мм, так как данный сдвиг совпадает с допуском отклонений.

Ключевые слова: лучевая терапия с модуляцией интенсивности, положения МЛК, внедренные ошибки, массив детекторов

Abstract

Purpose: To evaluate the sensitivity of the three-dimensional Arc Check detector array to intentionally introduced errors in MLC position during patient specific QA intensity-modulated radiotherapy (IMRT).

Materials and methods: Verification of treatment plans (both with introduced errors and without ines) was performed using the Clinac 6 EX linear accelerator (Varian, USA) and the ArcCheck three-dimensional detector array (Sun Nuclear, USA).

Results: IMRT plans for various anatomical sites were created in the Eclipse treatment planning system (TPS) following AAPM TG 119 recommendations. Errors in MLC leaf positioning (1 mm, 2 mm, and 4 mm shifts) were artificially introduced in to the plans. A custom C++-based soft ware tool was developed to automate error in sertion into MLC position files. Verification results were analyzed to evaluate the sensitivity of the Arc Check system to MLC parameter errors.

Conclusion: The sensitivity of Arc Check to errors depends on the error type. Detection sensitivity increases with stricter gamma criteria (e.g., 2 %/2 mm vs. 3 %/3 mm) and larger leaf displacements (≥ 2 mm). Errors of 2 mm and 4 mm were reliably detected across all plans for both error types. Weak sensitivity was observed for 1 mm shifts, as this aligns with the MLC tolerance threshold (1 mm).

Key words: intensity modulated radiotherapy, MLC position, embedded errors, detector array

E-mail: imlebedenko@mail.ru

<https://doi.org/10.52775/1810-200X-2025-106-2-92-101>

Введение

В работе оценивается чувствительность переносного трёхмерного массива детекторов, предназначенного для верификации планов дистанционной лучевой терапии, к внедренным ошибкам для фотонных пучков с модулированной интенсивностью.

Актуальность работы обусловлена необходимостью применения различных обеспечивающих контроль качества ускорителей измерительных средств, которые необходимо проверять на способность выявлять ошибки при верификации планов облучения. Возможные ошибки в работе МЛК могут оказаться критическими при реализации ЛТМИ для пациентов [1–4]. Так, например, в [1] сообщается об одном из случаев радиационной аварии, произошедшем в госпитале Нью-Йорка. Ответственный физик не смог отследить ошибку, возникшую на этапе сохранения плана ЛТМИ и передачи его на ускоритель. В результате пациенту было проведено облучение с полностью открытым (максимальным) полем, после которого в результате развившихся лучевых реакций больной умер.

На современном рынке оборудования из-за большого количества средств, необходимых для гарантии качества (ГК) ЛТМИ, сложно выбрать оптимальный и наиболее эффективный метод верификации [5]. Процедура верификации плана облучения представляет собой процесс сравнения рассчитанных на СП дозовых распределений с измеренными распределениями в специальном фантоме или в массиве детекторов. Поэтому, оценка чувствительности массива детекторов (в нашем случае Arc Check (Sun Nuclear, США)) к специально внедрённым ошибкам в параметрах МЛК при проведении ЛТМИ является актуальной задачей, решение которой поможет сделать вывод об эффективности предложенного средства верификации.

Цель исследования

Оценить чувствительность трёхмерного массива детекторов Arc Check к специально внедренным ошибкам в параметрах МЛК при проведении ЛТМИ.

В соответствии с поставленной целью были сформулированы следующие задачи:

- ✓ подготовить планы ЛТМИ на СП Eclipse для различных локализаций в соответствии с рекомендациями AAPM TG 119;
- ✓ разработать компьютерную программу на базе кода C++ для автоматического внедрения ошибок в файлы МЛК;
- ✓ провести верификацию подготовленных планов, как с ошибками, так и без них при облучении на аппарате Clinac 6 EX (Varian, США) с помощью трёхмерного массива детекторов Arc Check;
- ✓ провести анализ результатов верификации и оценить чувствительность системы Arc Check к ошибкам в параметрах МЛК.

Краткий обзор сведений по внедренным ошибкам МЛК

В работе [6] сказано, что допустимая величина отклонения пластин МЛК от заданного положения должна быть в пределах 1 мм. Поэтому рассмотрение этого граничного значения представляет большой интерес. Величины остальных сдвигов были выбраны исходя из данных в статьях [7–10]. Например, в работе [8] выполняли сравнительное исследование с внедрением ошибок различных устройств (поворота гантри, установки пластин МЛК более 2 мм и др.) и их регистрацией с использованием различных дозиметрических систем. Было показано, что выбранные дозиметрические системы демонстрируют разную чувствительность к внедрённым ошибкам, которая зависит от плана.

При этом в [8] использовали дозиметрические системы MARCHECK (PTW) и электронное устройство портальной визуализации (EPID). В результате получили зависимость чувствительности дозиметрических систем от гамма-критерия. Сделан вывод о том, что ни один из проверенных методов не является чувствительным при совокупности полей ЛТМИ к обнаружению систематического сдвига пластин МЛК в отдельном поле. Поэтому индивидуальный контроль качества плана облучения пациента не может заменить контроль качества самого МЛК.

В работе [9] исследовали чувствительность дозиметрических средств контроля к ошибкам многолепесткового коллиматора при объёмно модулированной арк-терапии (VMAT). В работе также внедряли ошибки позиционирования МЛК, но величина заданного сдвига была меньше допустимого и указанного в [6] отклонения и составляла 0,25, 0,5, 0,75 и 1 мм. Делается вывод о том, что гамма-критерий с величинами 2 %/2 мм более чувствительный, чем 3 %/3 мм.

В работе [10] исследовали влияние небольших систематических погрешностей и эффекта гравитации на дозовое распределение. Рассматривали три типа ошибок: 1) стороны МЛК сдвигались в противоположных направлениях, что приводило к большим полям; 2) обе стороны МЛК закрывали, что приводило к получению меньших полей; 3) обе стороны МЛК сдвигались в одном и том же направлении при развороте гантри для имитации воздействия силы тяжести на лепестки. Измерения оценивали по гамма-индексу 3 %/3 мм и 2 %/2 мм. Дозу в модифицированных планах пересчитывали, а гистограммы дозы для мишени и критических структур сравнивали с дозами неизмененных планов. Авторы показали, что при использовании критерия 3 %/3 мм и установке сдвига пластин МЛК 0,5 мм и 1 мм для планов облучения предстательной железы и опухолей головы/шеи соответственно, ошибки не идентифицируются. Рекомендовалось использовать более строгий критерий 2 %/2 мм.

В целях проверки специализированного дозиметрического оборудования для ЛТМИ в конкретном учреждении, в соответствии документом ESTRO [11], описаны способы верификации ЛТМИ. Подчёркивается, что иногда трудно определить причину различия между измеренным и запланированным распределением дозы, так как на величину различий оказывает влияние и передача данных в ускоритель, и

средства измерения, и величина выбранного критерия. Для идентификации причины наблюдаемого отклонения требуется знание каждой из составляющих, включая точность расчетов на СП, точность установки положения лепестков МЛК, характеристик оборудования, применяемого для контроля.

Рабочая группа AAPM TG-119 [12] разработала количественную величину доверительного интервала (confidence limit) результатов тестирования в качестве базового значения на этапе приемки и проверки метода ЛТМИ перед началом клинического применения. Был разработан набор контрольных примеров для оценки точности планирования и реализации ЛТМИ. В каждом тесте работы МЛК использовали контуры мишени и критических структур, созданные в прямоугольных фантомах. Все тесты были спланированы, осуществлены, измерены и проанализированы на девяти различных системах планирования ЛТМИ. Соответствие между запланированными и измеренными дозами было определено с помощью ионизационной камеры в областях высокой и низкой дозы, с помощью пленочной дозиметрии во фронтальной плоскости в фантоме для всех назначенных полей и дозиметрии в плоскости, перпендикулярной центральной оси для каждого отдельного пучка. Распределение дозы в плоскости оценивали с использованием гамма-критерия 3 %/3 мм. Для определения доверительных интервалов (ДИ) результатов тестирования применяли среднее значение и стандартное отклонение σ , используя концепцию определения $ДИ = |\text{среднее}| + 1,96\sigma$. Разработанный тестовый протокол и результаты тестирования рекомендованы для использования и для других устройств в качестве базиса для сравнения с этой группой.

Материал и методы

В данной работе использован ускоритель Clinac 6 EX с номинальной энергией фотонного излучения 6 МэВ, мощность дозы 600 МЭ/мин, максимальное поле облучения 40×40 см. Для расчета использован алгоритм AAA (анизотропный аналитический алгоритм) системы планирования Eclipse. К планам ЛТМИ, созданным в системе планирования Eclipse, применяется алгоритм оптимизации объёма дозы (DVO – Dose Volume Optimizer) для обратного планирования полей IMRT [13].

Внедрение ошибок положения МЛК

В табл. 1, в соответствии с рекомендациями TG-119 [12], приведены ошибки двух типов, внедренные авторами в планы для опухолей наиболее распространенных локализаций.

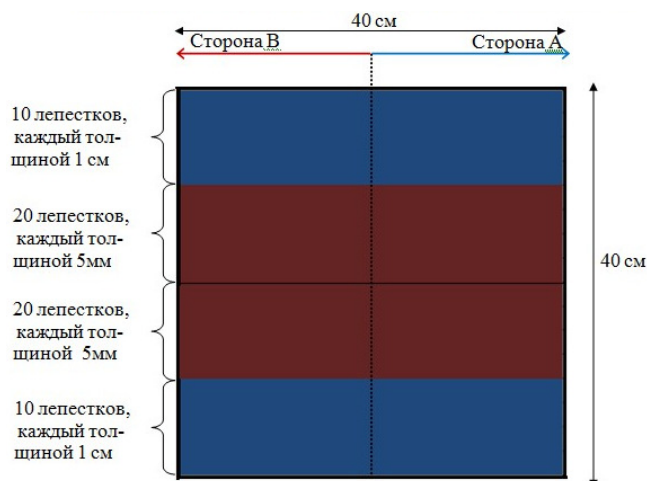
Исходя из публикаций [7–10, 14] и основываясь на докладах [6, 11, 12], были выбраны ошибки двух типов и соответствующие им величины сдвигов лепестков МЛК. Для наглядного изображена условная схема МЛК (рис. 1). Центральная ось соответствует оси симметрии расположения пластин МЛК относительно оси пучка. Края пластин МЛК в этом исходном положении на самом деле не смыкаются, а расположены в пределах одного миллиметра относительно оси симметрии (по данным приемо-сдаточных испытаний). Тем не менее, на рисунке мы условно изобразили правую и левую зоны расположения пластин сомкнутыми.

Ошибки первого типа могут возникнуть при неправильной калибровке, при этом изменится облучаемый объем, пострадают здоровые органы и ткани. При ошибках второго типа ошибки противоположные лепестки МЛК раздвигаются в разные стороны. Пластины А смещаются относительно своего исходного положения в правую сторону, а лепестки В смещаются относительно своего положения в левую сторону. При этом с увеличением расстояния между стороной А и стороной В поглощенная доза увеличивается. Для того чтобы сдвинуть все лепестки в правую сторону, необходимо из значения, соответствующего положению лепестков В, вычесть величину сдвига, а к значению, соответствующему положению лепестков А, прибавить величину сдвига. Для того, чтобы раздвинуть все пластины, надо к значениям, соответствующим положениям лепестков А и В, прибавить величину сдвига.

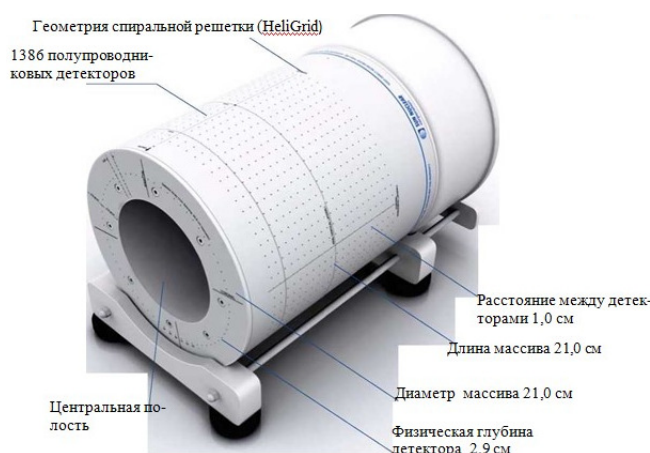
Изображение массива детекторов Arc Check для верификации планов облучения из полиметилметакрилата (ПММА), используемого для выявления ошибок, и некоторые характеристики приведены на рис. 2. Arc Check – матрица полупроводниковых детекторов, специально предназначенная для проверки планов с модуляцией интенсивности в ротационном режиме работы ускорителя, ее форма максимально приближена к идеальной форме тела пациента (рис. 3). Детекторы расположены по спирали, что увеличивает частоту дискретизации и уменьшает перекрытие и затенение детекторов BEV.

Таблица 1**Типы внедренных ошибок**

Тип ошибки	Модификация МЛК	Величина сдвига, мм		
1 случай	Лепестки А и В сдвигаются вправо	1	2	4
2 случай	Лепестки А и В сдвигаются в разные стороны (А – вправо, В – влево)	1	2	4

**Рис. 1. Схема МЛК**

3D массив Arc Check обладает преимуществами перед 2D матрицами, зафиксированными на терапевтическом столе. Геометрия детектора по отношению к BEV (вид из пучка) остаётся постоянной. Возможно обнаружение очень маленьких ошибок угла поворота. Напротив, при облучении 2D матрицы и отсутствии эффекта затенения детектора (при наклонном пучке) значительная информация теряется в

**Рис. 2. Массив детекторов ArcCheck**

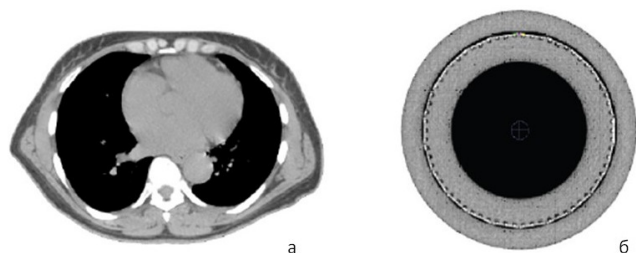


Рис. 3. Arc Check – матрица полупроводниковых детекторов, специально предназначенная для проверки планов с модуляцией интенсивности в ротационном режиме работы ускорителя – б; ее форма максимально приближена к идеальной форме тела пациента – а

2D массиве, а ошибки до 10° пропускаются в 75 % случаев [7–10]. В отличие от 2D массив детекторов, Arc Check позволяет оценить дозовое распределение по всей поверхности цилиндра. Развертка дозового распределения по углам при облучении на ускорителе массива детекторов Arc Check приведена на рис. 4. На площади Arc Check 10×10 см² содержится 221 детектор (рис. 5). Измеряется входная и выходная доза, эффективно удваивая плотность детектора в поле измерения. Arc Check самостоятельно вычисляет угол гантри, используя входную и выходную дозу. Виртуальный уклономер работает с погрешностью $\pm 0,5^\circ$.

Расхождение между измеренными и рассчитанными данными оценивалось по гамма-критерию. Гамма-анализ позволяет проводить совместную проверку пространственного отклонения и отличия по измеренной и рассчитанной дозе. Рекомендованы следующие параметры индексации для проведения оценки планов облучения: расхождение в абсолютном значении дозы (dose difference) – 3 % (5 % для стереотаксического облучения); расхождение в расстоянии между точками с одинаковыми значениями дозы (distance to agreement) – 3 мм (2 мм для стереотаксического облучения); критерий приемлемости результата верификации – площадь точек с гамма-индексом более 1 по отношению к общему числу точек оценки плана <10 %. Однако в данной работе рассматривался также более жёсткий критерий – 2 % и 2 мм.

Для проведения количественных оценок подготовлен набор тестовых планов ЛТМИ в соответствии с TG 119, а именно “тест скорости”, “предстательная железа”, “голова-шея”, “много мишеней” (multitarget), C-shape. Затем для этих планов рассчитывали дозовые распределения по методике sliding window IMRT на СП Eclipse.

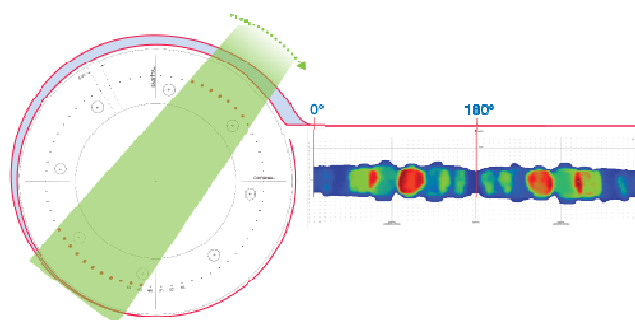


Рис. 4. Развертка дозового распределения по углам при облучении на ускорителе массива детекторов Arc Check

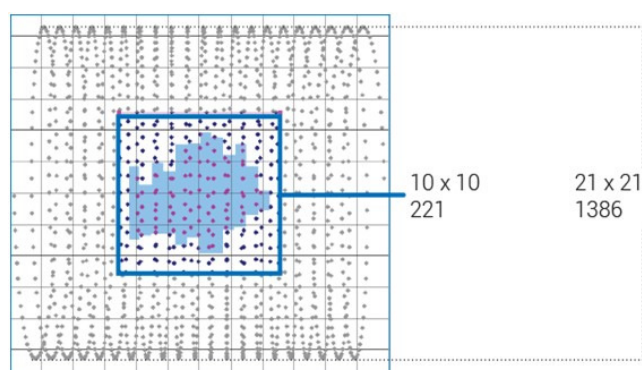


Рис. 5. Расположение детекторов в пучке Arc Check BEV (вид из пучка)

Далее файлы движения МЛК из СП экспортировались в персональный компьютер со специально разработанным программным обеспечением (ПО). Следующим этапом было получение планов с внедрёнными ошибками (получение файлов МЛК с ошибками с помощью ПО). Далее проводили облучение на ускорителе массива полупроводниковых детекторов Arc Check по планам с внедрённой ошибкой. В итоге были получены измеренные дозовые распределения (с ошибками), которые и были сопоставлены с рассчитанными данными без ошибок. Разработана программа на базе кода C++ с помощью библиотеки WPF, позволяющая имитировать возможные ошибки в реальной работе МЛК.

Результаты

Проведен анализ и определены параметры возможных ошибок МЛК. В первом случае пластины А и В смещали в правую сторону относительно оси симметрии. Во втором случае все лепестки раздвигали в разные стороны от-

носителем оси. То есть лепестки В смещали влево, лепестки А смещали вправо. Определены количественные параметры ошибок МЛК: ошибки позиционирования лепестков составляют сдвиг 1, 2, 4 мм. Результаты сравнения абсолютных и относительных доз для тестового плана и расчет погрешностей приведены в табл. 2. В табл. 2 первые цифры (1, 2) обозначают случаи из табл. 1, вторые цифры (после черточки) обозначают величину смещения в мм. Оценка результатов проводилась в программе SNC Patient, в которую загружались импортированные из системы планирования Eclipse сведения об измеренных и рассчитанных дозовых распределениях. Программе SNC Patient предлагает несколько способов сравнения. В работе использовали RD (relative dose – относительная доза) и AD (absolute dose – абсолютная доза). Затем выбирали гамма-критерии. На следующем шаге рассчитывается процент точек, отклонение от которых удовлетворяло установленному критерию. Результаты верификации, полученные с помощью программного обеспечения SNC Patient для гамма-критериев: γ -2 %/2 мм, γ -3 %/3 мм и γ -4 %/4 мм, для примера, для тестового плана Multitarget, иллюстрированы в табл. 2. Ввиду цифровой монотонности таблицы сведения для других тестов здесь не приведены.

Для определения, в каких случаях ошибки можно считать выявленными, а в каких нет, использовали пороговую чувствительность Arc Check. Пороговая чувствительность – характеристика средства измерений в виде наиме-

ньшего значения изменения физической величины, начиная с которого может осуществляться её измерение данным средством. Чувствительность определялась как величина, прямо пропорциональная проценту точек, не прошедших по гамма-критерию. Величина порога чувствительности определялась из результатов сравнения по гамма-методу для планов без ошибок. Ошибка считалась выявленной, если процент точек, не прошедших по гамма-критерию, в случае с RD превысил значение 8 % для критерия 2 %/2 мм, 2 % – для критерия 3 %/3 мм, а в случае с AD – превысил значение в 12 % для критерия 3 %/3 мм и 7 % для критерия 4 %/4 мм. Для лучшего понимания полученных в таблице результатов построены гистограммы (рис. 6–9). Первые две (рис. 6, 7) относятся к Relative Dose, гистограммы рис. 8, 9 – к Absolut Dose.

Оценка по методу RD наиболее достоверна. Это связано с тем, что AD зависит от абсолютной калибровки аппарата (погрешность до 2 %) и специфики калибровки по абсолютной дозе Arc Check (погрешность до 2 %). При сравнении по RD оценивается исключительно разница в форме дозового распределения. Для критерия 2 %/2 мм (рис. 6) наблюдается чёткая закономерность увеличения чувствительности устройства Arc Check при увеличении значения сдвига лепестков МЛК, для ошибок как первого, так и второго типа. Из диаграммы видно, что для планов без изменений чувствительность отсутствует. Также наблюдается слабая чувствительность для ошибок обоих типов

Таблица 2

**Результаты сравнения абсолютных и относительных доз для тестового плана
и расчет погрешностей**

Локализация	Сдвиг лепестка	Статус	γ – 2 %/2 мм		γ – 3 %/3 мм		γ – 4 %/4 мм	
			Гамма RD	Гамма AD	Гамма RD	Гамма AD	Гамма RD	Гамма AD
(много мишеней)	Без ошибки	Pass %	94±0,6	82±1	99±0,3	92±0,7	100±0	97±0,5
		Fail %	6±0,6	18±1	1±0,3	8±0,7	0±0	3±0,5
	1_1 мм	Pass %	90±0,8	83±1	98±0,4	89±0,8	99±0,3	93±0,7
		Fail %	10±0,8	17±1	2±0,4	11±0,8	1±0,3	7±0,7
	1_2 мм	Pass %	80±1,1	67±1,3	92±0,7	84±1	97±0,5	93±0,7
		Fail %	20±1,1	33±1,3	8±0,7	16±1	3±0,5	7±0,7
	1_4 мм	Pass %	54±1,3	44±1,3	70±1,2	61±1,3	82±1	74±1,2
		Fail %	46±1,3	56±1,3	30±1,2	39±1,3	18±1	26±1,2
	2_1 мм	Pass %	92±0,7	39±1,3	99±0,3	68±1,3	100±0	80±1,1
		Fail %	8±0,7	61±1,3	1±0,3	32±1,3	0±0	20±1,1
	2_2 мм	Pass %	77±1,1	19±1,1	93±0,7	35±1,3	98±0,4	51±1,3
		Fail %	23±1,1	81±1,1	7±0,7	65±1,3	2±0,4	49±1,3
	2_4 мм	Pass %	58±1,3	5±0,6	72±1,2	10±0,8	83±1	18±1
		Fail %	42±0	95±0	28±0	90±0	17±0	82±0

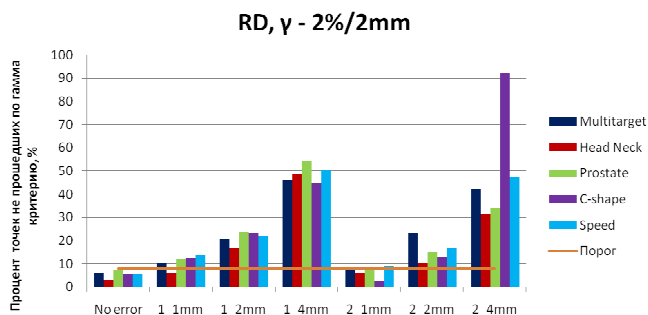


Рис. 6. Гамма-анализ по методу RD с гамма-критерием 2 %/2 мм

при смещении на 1 мм, так как сдвиг совпадает с допустимым отклонением. При отклонениях 2 мм и 4 мм для всех планов ошибки были выявлены.

Для критерия 3 %/3 мм (рис. 7) наблюдается похожая на критерий 2 %/2 мм закономерность увеличения чувствительности при увеличении значения сдвига лепестков МЛК, для ошибок как первого, так и второго типа. Однако в этом случае не была выявлена ошибка второго типа при сдвиге лепестков на 2 мм для всех планов HeadNeck и C-shape. Для критерия 4 %/4 мм наблюдается похожая на предыдущие критерии закономерность увеличения чувствительности при увеличении значения сдвига лепестков МЛК для ошибок обоих типов. Из диаграммы видно, что чувствительность отсутствует для плана Multitarget при сдвиге 2 мм для ошибки первого типа и для планов Multitarget, Speed при сдвиге 1 мм также для ошибки первого типа.

Оценка по методу AD (рис. 8, 9) показывает намного больший, чем для RD, процент точек, не прошедших по гамма-критерию. Для критерия 3 %/3 мм планы с ошибками первого типа при сдвиге 1 мм были выявлены, но показали результат, близкий к порогу чувствитель-

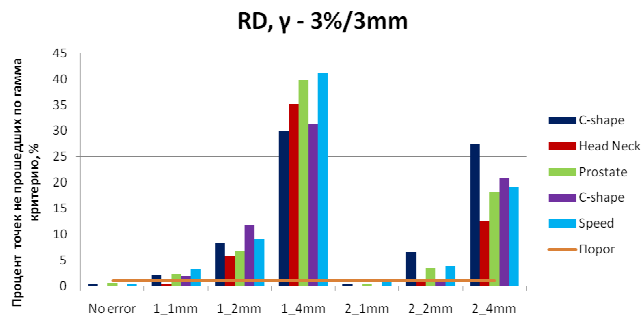


Рис. 7. Гамма-анализ по методу RD с гамма-критерием 3 %/3 мм

ности, планы с остальными ошибками уже были выявлены. Критерий 3 %/3 мм менее строгий по сравнению с критерием 2 %/2 мм. Для критерия 4 %/4 мм порог чувствительности не превышен для планов без ошибок. Планы с ошибками первого типа при сдвиге 1 мм и 2 мм были выявлены, но показали результат, близкий к порогу чувствительности. Планы с остальными ошибками уже были выявлены. Критерий 4 %/4 мм менее строгий по сравнению с предыдущими критериями.

Обсуждение

На результат верификации выражено влияет тип рассматриваемой ошибки. При втором типе пластины МЛК раздвигаются и соответственно увеличивается поглощённая доза и процент не прошедших по гамма-критерию точек. Также на результат верификации влияет величина сдвига лепестков МЛК. Например, при сдвиге лепестков МЛК на 4 мм процент точек, не прошедших по гамма-критерию, в несколько раз больше чем при сдвиге 1 мм или 2 мм. Кроме этого, на результат верификации влияет величина используемого гамма-критерия.

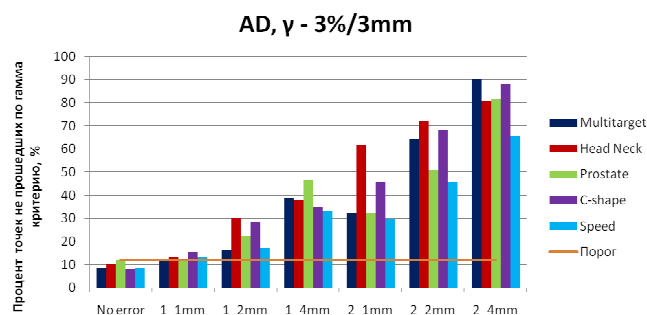


Рис. 8. Гамма-анализ по методу AD с гамма-критерием 3 %/3 мм

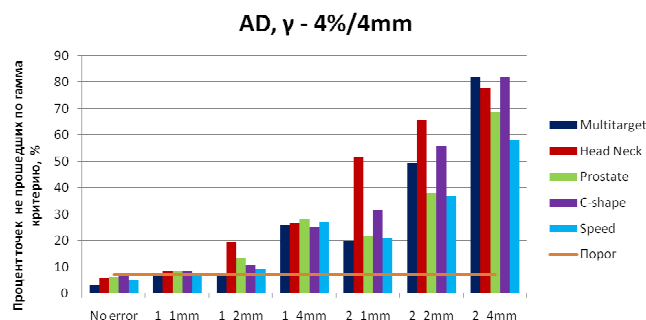


Рис. 9. Гамма-анализ по методу AD с гамма-критерием 4 %/4 мм

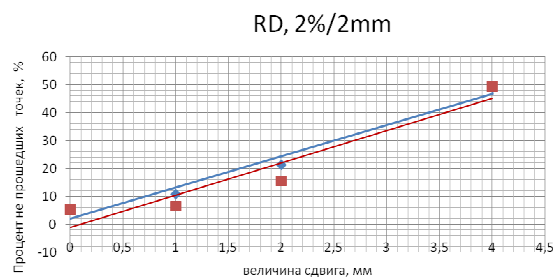


Рис. 10. Гамма-анализ по методу RD с гамма-критерием 2 %/2 мм

рия. При использовании гамма-критерия 2 %/2 мм чувствительность оценки возрастает. При использовании критерия 3 %/3 мм не выявлена ошибка второго типа по методу RD при сдвиге лепестков на 2 мм для тест-планов Head& Neck и C-shape.

Полученные результаты усреднили и аппроксимировали в виде выраженных линейных функций (синий и красный цвет для ошибок первого и второго типа соответственно). Из графиков рис. 10–13 совершенно очевидно, что чувствительность устройства Arc Check прямо пропорциональна проценту точек, не прошедших по гамма-критерию. Для количественного определения чувствительности нами получены соответствующие коэффициенты линейных зависимостей.

При рассмотрении графиков рис. 10–13 можно сделать следующие заключения.

По данным оценок по относительной дозе RD (рис. 10, 11):

- ✓ с гамма-критериями 3 %/3 мм и 2 %/2 мм для ошибок двух типов при сдвиге лепестков МЛК на 2 мм и 4 мм ошибки были выявлены для всех планов, кроме ошибки второго типа при сдвиге лепестков на 2 мм для гамма-критерия 3 %/3 мм, где чувствительность наблюдалась для более строгого гамма-критерия 2 %/2 мм;
- ✓ с гамма-критерием 4 %/4 мм были выявлены ошибки только для сдвига лепестков на 4 мм;
- ✓ при использовании гамма-критерия 3 %/3 мм и 4 %/4 мм не была выявлена ошибка первого типа при сдвиге лепестков на 1 мм для всех планов, а при использовании гамма-критерия 2 %/2 мм данная ошибка была выявлена для всех планов, кроме плана Head Neck.

По данным оценок по абсолютной дозе AD (рис. 12, 13) можно сказать следующее:

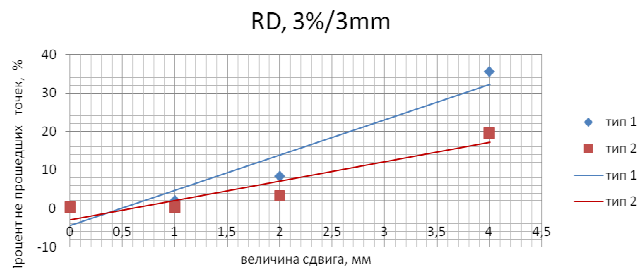


Рис. 11. Гамма-анализ по методу RD с гамма-критерием 3 %/3 мм

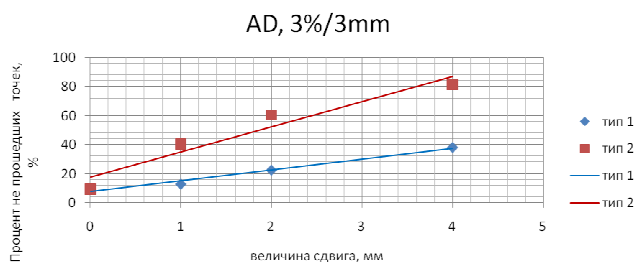


Рис. 12. Гамма-анализ по методу AD с гамма-критерием 3 %/3 мм

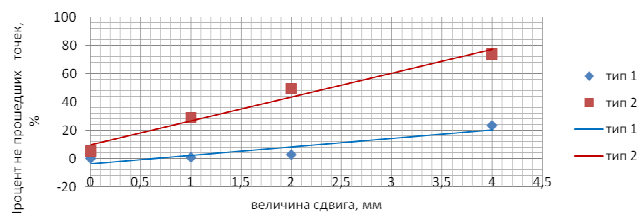


Рис. 13. Гамма-анализ по методу AD с гамма-критерием 4 %/4 мм

- ✓ с гамма-критериями 4 %/4 мм, 3 %/3 мм для ошибок всех типов и всех планов процент точек, не прошедших по гамма-критерию, превысил соответствующие значения по методу RD;
- ✓ при использовании гамма-критериев 3 %/3 мм и 4 %/4 мм все ошибки были выявлены, кроме случаев с планами Multitarget для ошибки первого типа при сдвиге 1 мм при гамма-критерии 3 %/3 мм; и планов Speed, Multitarget и Speed для ошибки первого типа при сдвиге 1 мм при гамма-критерии 4 %/4 мм, а также Multitarget для первого типа ошибки при сдвиге 2 мм при гамма-критерии 4 %/4 мм.

На основании проведенного анализа составлена табл. 3 тех планов, для которых при разных гамма-критериях и разных типах ошибок чувствительность отсутствовала.

Таблица 3

Случаи невыявленной чувствительности

Тип ошибки	Сдвиг	RD		AD	
		2 %/2 мм	3 %/3 мм	3 %/3 мм	4 %/4 мм
1	1 мм	HeadNeck	HeadNeck	Multitarget, Prostate	Multitarget, Speed
	2 мм				Multitarget
2	1 мм	все планы	все планы		
	2 мм		HeadNeck, C-shape		

Выводы

На основании сравнения измеренных и рассчитанных дозовых распределений с помощью гамма-метода при критериях 2 %/2 мм 3 %/3 мм и 4 %/4 мм сделаны следующие выводы.

1. Чувствительность Arc Check к внедренным ошибкам зависит от вида ошибки.
2. Чувствительность к детектированию специально внедренных ошибок возрастает при использовании более строгого гамма-критерия и при увеличении значения сдвига.
3. Выявлены ошибки первого и второго типа для всех планов при отклонениях 2 мм и 4 мм.
4. Наблюдается слабая чувствительность для ошибок двух типов при сдвиге пластин МЛК на 1 мм, так как данный сдвиг совпадает с допуском отклонений.
5. При исследовании результатов верификации не обнаружено явной зависимости от типа плана, рекомендованного для верификации в документе AAPMTG-119.
6. Результаты оценки чувствительности массива детекторов Arc Check к наличию специально внедренных ошибок, полученные в данной работе, можно считать удовлетворительными.

Список литературы

1. Bogdanich W. Radiation offers newcures, and new ways to do harm. New York Times. 2010; 15.
2. Patient safety in an environment of rapidly advancing technology in radiation therapy. Med. Phys. 2014; 39: 2: 61-3. <https://doi.org/10.4103/0971-6203.131276/>
3. Bogdanich W. Radiation Boom-as technology surges radiation safeguards lag. New York Times. 2010; 27.
4. Наркевич БЯ, Костылёв ВА, Левчук АВ и др. Радиотерапевтические риски и радиационные аварии в лучевой терапии. Медицинская физика. 2009; 1: 31-8. Narkevich BY, Kostylev VA, Levchuk AV, et al. Radiotherapeutic risks and radiation accidents in radiation therapy. Medical Physics. 2009; 1: 31-8 (In Russ).
5. User's Guide Arc CHECK™. Sun Nuclear Corporation. 2009.
6. Klein EE, Hanley J, Bayouth J, et al. AAPM TG-142: Quality assurance of medical accelerators. Med. Phys. 2009; 36: 9: 4197-212. <https://doi.org/10.1118/1.3190392>.
7. Rangel A, Palte G, Dunscombe P. The sensitivity of patient specific IMRT QC to systematic MLC leaf bank offset errors. Med. Phys. 2010; 37: 3862-7. <https://doi.org/10.1118/1.3453576>.
8. Fredh A, Scherman JB, Fog LS, et al. Patient QA systems for rotational radiation therapy: A comparative experimental study with intentional errors. Med. Phys. 2013; 40: 3: 031716: 1-9. <https://doi.org/10.1118/1.4788645>.
9. Coleman L, Skourou C. Sensitivity of volumetric modulated arc therapy patient specific QA results to multileaf collimator errors and correlation to dose volume histogram based metrics. Med. Phys. 2013; 40: 11: 111715: 1-7. <https://doi.org/10.1118/1.4824433>.
10. Heilemann G, Poppe B, Laub W. On the sensitivity of common gamma-index evaluation methods to MLC misalignments in Rapidarc quality assurance. Med. Phys. 2013; 40: 3: 031702: 1-12. <https://doi.org/10.1118/1.4789580>.
11. Guidelines for the verification of IMRT. ESTRO Guidebook 9. 2008.
12. AAPM TG-119: IMRT Commissioning Tests Instructions for Planning, Measurement, and Analysis. 2009. Version 10.21. <http://www.aapm.org/pubs/tg119/default.asp>.
13. Algorithm for correcting optimization convergence errors in Eclipse. Journal of Applied

Clinical Medical Physics. 2009; 10:1: 281-9.

<https://doi.org/10.1120/jacmp.v10i4.3061>.

14. Шатенок МП, Коростин ИН, Крылова ТА и др. Чувствительность двумерных массивов детекторов к специально внедренным

ошибкам в планы ЛТМИ. Медицинская физика. 2015; (1): 23-31.

Shatenok MP, Korostin IN, Krylova TA, et al. Sensitivity of two-dimensional detector arrays to specially introduced errors in IMRT plans. Medical Physics . 2015; (1): 23-31 (In Russ).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 25.03.2025. **Принята к публикации:** 10.06.2025.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 25.03.2025. **Accepted for publication:** 10.06.2025.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС В МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

А.С. Лагутин, Г.Ю. Григорьев

Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва

TECHNOLOGICAL PROGRESS IN MAGNETIC RESONANCE IMAGING

A.S. Lagutin, G.Y. Grigoriev

National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia

Содержание

Введение

Принципы МРТ и основные приложения

Классификация томографов

Клинические применения сверхвысокопольных МРТ сканеров

Томографы с гиперсильными магнитными полями

Альтернатива: МРТ с гиперполяризованными газами

Заключение

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, магнитное поле, импульсные последовательности, сверхвысокопольные сканеры

Contents

Introduction

The principle of MRI and the main applications

Classification of tomographs

Clinical applications of ultra-high-field MRI scanners

Tomographs with hyper-strong magnetic fields

The alternative: MRI with hyperpolarized gases

Conclusion

Key words: magnetic resonance imaging, magnetic field, pulse sequences

E-mail: Lagutin_AS@nrcki.ru

<https://doi.org/10.52775/1810-200X-2025-106-2-102-127>

Введение

Одним из наиболее информативных методов визуализации структурных и функциональных изменений в теле человека является томография – это послойное исследование структуры различных объектов. Существует несколько видов томографии: компьютерная рентгеновская (КТ), магнитно-резонансная (МРТ), позитронно-эмиссионная (ПЭТ), однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ), ультразвуковая и оптическая когерентная томография. При этом качество томографической визуализации, полученной после математической обработки такой информации, зависит как от физических процессов, лежащих в основе работы томографа, так и от его программного обеспечения, а также от свойств исследуемой среды.

Магнитно-резонансная томография (МРТ) в настоящее время является мощным методом медицинской диагностики благодаря высокой информативности и безопасности исследования. Для повышения информативности исследования постоянно вводятся технические усовершенствования, разрабатываются импульсные программы и методы обработки данных, позволяющие обеспечить наилучшую визуализацию изучаемых структур с учетом диагностических задач [1].

Магнитно-резонансная томография – это способ получения томографических медицинских изображений для исследования внутренних органов и тканей с использованием явления ядерного магнитного резонанса. В 1946 г. ученые из США Феликс Блох и Эдвард Парселл совместно с Р. Паундом открыли ядерный магнитный резонанс. Блоху и Парселлу в 1952 г., за это открытие присуждена Нобелевская премия по физике.

За изобретение метода МРТ Питер Мэнсфилд и Пол Лотербур получили в 2003 г. Нобелевскую премию в области медицины [2, 3]. В создание метода большой вклад внес также Реймонд Дамадьян, который является одним из первых исследователей принципа томографии, создателем первого коммерческого сканера и держателем патента на метод магнитно-резонансной томографии. Первый МРТ-аппарат был создан и испытан Дамадьяном в 1977 г. В 1988 г. президент США Р. Рейган вручил Р. Дамадьяну Национальную медаль США в области технологий [4].

Однако в действительности метод магнитно-резонансной томографии предложил наш соотечественник, выпускник военной инженерной академии им. А.Ф. Можайского – В.А. Иванов за 13 лет до американцев. В 1960 г. лейтенант Советской Армии Владислав Иванов обратился в Госкомитет СССР по изобретениям и открытиям с заявкой на изобретение, в которой были сформулированы принципы метода ядерно-магнитной томографии, а также приведена схема томографа [5]. Главным достижением В.А. Иванова стала идея использования градиента магнитного поля в сочетании с селективным частотным возбуждением/считыванием для кодирования пространственных координат. Это была взвешенная по протонной плотности визуализация, которая к тому же была медленной, поскольку одновременно использовалось только одно направление градиента, а визуализация проводилась срез за срезом. Тем не менее, это была настоящая процедура магнитно-резонансной визуализации. Однако из-за своей новизны и отсутствия прототипов в отечественной практике, предложенный в заявке метод не нашел своевременной поддержки в научной среде, и лишь спустя двадцать лет стало ясно, что изобретение, на которое В.А. Иванов подал заявку в 1960 г., могло стать первым шагом в создании магнитно-резонансных томографов в России.

В 1975 г. Ричард Эрнст предложил проведение МРТ с применением частотного и фазового кодирования – именно тот метод, который существует и в настоящее время. В 1991 г. Р. Эрнст был удостоен Нобелевской премии в области химии за достижения в изучении импульсных МРТ и ЯМР и работы в области импульсных ЯМР-спектрометров с Фурье-преобразованием [6].

Принципы МРТ и основные приложения

МРТ основана на регистрации сигналов ядерного магнитного резонанса (ЯМР) с использованием наряду с сильным однородным магнитным полем B_0 трех неоднородных магнитных полей (градиентных полей – G_z , G_y и G_x), обеспечивающих пространственное кодирование частот прецессии ядерных магнитных моментов в присутствии магнитного поля B_0 . При этом градиент G_z используется для выбора ак-

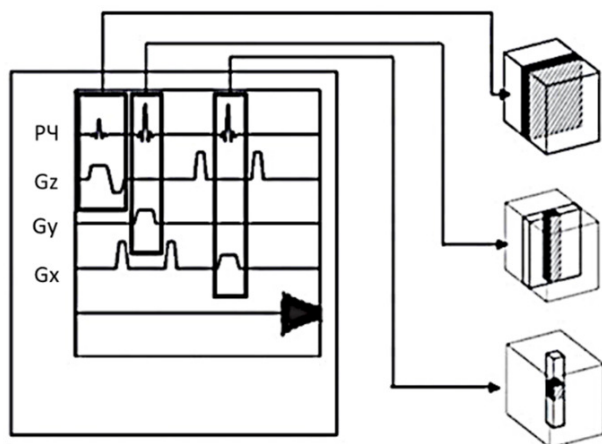


Рис. 1. Выделение чувствительного объема на пересечении ортогональных плоскостей, выбранных градиентами магнитного поля G_z , G_y , G_x (адаптировано из работы [8])

сиального среза, за счет градиента G_y создаются строки с разными фазами, а градиент G_x формирует столбцы с разными частотами (см. рис. 1). За один шаг кодирования фазы выполняется только для одной строки. Для сканирования целого среза полный процесс кодирования среза, фазы и частоты должен быть повторен несколько раз. Таким образом создаются и кодируются элементарные объемы (воксели, см. рис. 1).

От способа такого кодирования и параметров импульсов радиочастотного (РЧ) возбуждения, называемых импульсной последовательностью (ИП), зависит способ обработки сигналов ЯМР (визуализация).

Метод магнитно-резонансной томографии имеет принципиальное отличие от прочих методов томографии (компьютерная рентгеновская, позитронно-эмиссионная, ультразвуковая и оптическая когерентная томография), поскольку имеет дело с решением прямой задачи, при которой в результате измерения радиочастотных откликов, локализованных градиентными полями вокселей, сразу же формируется дифференциальная картина характеристик объекта. Более того, только в МРТ при комбинации геометрического сканирования по объему с частотным сканированием сигнала в режиме ЯМР-спектроскопии можно получить трехмерное распределение молекулярной структуры тканей живого организма, отличая, например, доброкачественные образования от раковых.

Высокая информативность методов МРТ в немалой степени обусловлена тем, что величина регистрируемого сигнала магнитного резонанса определяется не только протонной плотностью и релаксационными параметрами среды (временем продольной релаксации – T_1 и временем поперечной релаксации – T_2), но и параметрами ИП. Это обуславливает широкие возможности управления тканевым контрастом, что способствует дифференциации тканей с различными релаксационными параметрами [7], что необходимо для определения точной пространственной локализации тканей и их возможных патологических изменений. Основные параметры, характеризующие ИП, приведены в табл. 1.

Посредством управления полями градиентов и применяемой ИП можно изменять ширину среза, ориентацию и область сканирования изображения (FOV). За счёт изменения таких параметров, как время повторения импульса TR и время появления эхо-сигнала TE , изменяются интенсивность изображения и его контрастность за счет “взвешивания” по протонной плотности, T_1 или T_2 . Регулируя мощность входного РЧ импульса, можно контролировать угол наклона ядерных спинов и создавать оптимальную контрастность или интенсивность сигнала в определённой зоне в пределах интересующего участка [9]. Наиболее популярные импульсные последовательности, используемые в МРТ-сканерах, представлены в табл. 2.

В настоящее время известны более пяти-сот различных ИП, большинство из которых представлены в работах [10, 11]. Стимулами для их разработки являются сокращение времени сканирования и повышения контрастности, а также возможность применения в томографии с параллельным сбором информации. Именно эти направления в настоящее время активно развиваются [12–14].

Магнитно-резонансная томография, прочно вошедшая в клиническую практику с конца прошлого века, продолжает развиваться и активно использоваться в медицине и смежных областях [15–21]. Основные направления использования МРТ в медицине и современные методы магнитно-резонансной томографии представлены в табл. 3.

В этой таблице и содержании последующих разделов обзора представлены результаты исследований, полученных в клинических условиях и, как правило, с помощью сканеров

Таблица 1

**Основные параметры импульсных последовательностей МРТ сканера
(адаптировано из работы [9])**

Название параметра	Описание
TR – период повторения последовательности. Определяет степень продольной релаксации (время T_1) перед последующим РЧ импульсом.	Время между двумя импульсами возбуждения. В режиме спинного эха (SE) – между двумя 90° импульсами, в режиме восстановления с инверсией (IR) – между двумя 180° импульсами.
TE – время появления эхо-сигнала. Влияет на величину поперечной релаксации (время T_2), которая произошла к моменту измерения эхо-сигнала.	Время между импульсом возбуждения и спинным эхом.
TI – время инверсии, это интервал между инвертирующим и 90° импульсами.	Время между 180° и 90° импульсами возбуждения TI используется только в IR последовательностях.
ETL – длина эхо-сигнала. Это число 180° перефазировующих импульсов, выполняемых в течение одного периода времени повторения (TR).	Большое значение ETL может улучшить соотношение сигнал/шум и улучшить разрешение изображения, однако это увеличивает время сканирования. И наоборот, малое значение ETL сократит время исследования, но ухудшит качество изображения.
FA – угол отклонения, используется для изменения удельных весов времен продольной и поперечной релаксации.	Определяет, насколько повернут вектор суммарной намагниченности по направлению к плоскости X-Y. В SE и IR последовательностях FA в большинстве случаев равен 90° .
FOV – этот параметр определяет размер исследуемой области пациента, охваченной при сканировании.	Напрямую влияет на качество изображения. Большая величина FOV соответствует увеличенному охвату ткани в области сканирования, тогда как меньшая величина FOV обеспечивает более высокое разрешение изображений.

Таблица 2

Наиболее известные импульсные последовательности (адаптировано из работы [9])

Название параметра	Описание
Спин-эхо (Spin-Echo – SE).	После 90° РЧ импульса применяется второй РЧ импульс, на этот раз 180° импульс, который вызывает перефазирование спинов. Когда все спины восстановлены по фазе, сигнал магнитного резонанса снова становится большим и качество изображения значительно улучшается. Полученный сигнал называется эхо, потому что он “восстановлен” из сигнала спада свободной индукции (FID). Перефазировующий импульс следует точно в середине между 90° импульсом и эхом.
Восстановление с инверсией (Inversion Recovery – IR).	Это SE последовательность, упрежденная другим 180° импульсом возбуждения. Динамика последовательности отличается от SE тем, что первый 180° импульс возбуждения переворачивает суммарную намагниченность к -Z оси. После 180° импульса происходит только T_1 восстановление, потому что в плоскости X-Y отсутствует компонент и, поэтому, нет T_2 релаксации. В этом случае процесс релаксации T_1 длится вдвое дольше, чем при применении 90° импульса возбуждения. T_1 релаксация длится заданное время, известное как время инверсии (Inversion Time – IT).
Восстановление с инверсией и ослаблением сигнала жидкости (Fluid Attenuated Inversion Recovery – FLAIR).	Такая импульсная последовательность устраняет сигнал от воды и спинномозговой жидкости за счёт очень больших времён инверсии (2000–2500 мс). Применяется, в основном, при сканировании головного мозга. На таких изображениях многие патологические очаги видны лучше, чем на взвешенных по T_2 изображениях.
Градиентное эхо (Gradient echo – GRE). Для генерации сигнала резонанса применяются градиенты магнитного поля, а не радиочастотный 180° импульс как в SE.	Изменение полярности градиента поля имеет тот же самый эффект, что перефазировующий 180° РЧ импульс. При GRE не нужно ждать полного затухания поперечной намагниченности перед началом следующей последовательности, поэтому требуется очень короткая продолжительность повторения (TR) и, следовательно, возможно получение изображений за короткое время.

Таблица 3

Основные направления применения МРТ в медицине

Направления	Цели исследований	Ссылки	Метод
Нейровизуализация	Визуализация структуры мозга и обнаружение аневризм, инсультов, опухолей и других повреждений головного мозга. Изучение мозговой активности путем отслеживания изменений в кровотоке для составления карт функций мозга. Исследования метаболизма в мозге человека Диффузионно-тензорная томография используется для неинвазивного картирования функциональных областей мозга (например, языковых участков коры, сенсомоторной коры) и участков белого вещества (например, кортикоспинального тракта, дугообразного пучка).	[22–26] [8, 22] [27–29]	Функциональная МРТ (fMRI) – зависимость от уровня оксигенации крови фМРТ (BOLD fMRI) Магнитно-резонансная спектроскопия (MRS) Диффузионно-тензорная томография (diffusion tensor imaging - DTI)
Визуализация опорно-двигательного аппарата	Оценка состояния суставов, диагностика повреждений связок, сухожилий и хрящей, а также диагностика артрита. МРТ позволяет обнаружить сопутствующие переломам костей повреждения мягких тканей, оценить степень смещения кости и оценить окружающие структуры на наличие признаков повреждения. Визуализация спинного мозга, межпозвоночных дисков и нервных корешков Диагностика мышечных нарушений и повреждений мягких тканей. Магнитно-резонансную спектроскопию используют для определения внутримышечных и внемышечных пиков липидов в мышцах, что позволяет неинвазивно измерить жировую инфильтрацию	[30] [31, 32] [33] [34]	Взвешенная по T_1 , T_2 и протонной плотности визуализация Диффузионно-взвешенная магнитно-резонансная томография (DW-MRI) Динамическая перфузия со взвешенным по T_1 и T_2 контрастированием Магнитно-резонансная спектроскопия (MRS)
Визуализация сердечно-сосудистой системы	Исследование структуры и функции сердца для выявления инфаркта миокарда, кардиомиопатии, врожденных пороков сердца, ишемической болезни сердца, тромбов. Достоверная оценка жизнеспособности и перфузии миокарда, применяя динамическое контрастное усиление при МРТ. Оценка состояний кровеносных сосудов, включая аорту, сонные артерии и периферические артерии, для диагностики сосудистых заболеваний без использования ионизирующего излучения или нефротоксичных контрастных веществ.	[35–37] [38, 39]	Получение изображения сердца в режиме CINE (кинорежим, позволяющий оценить движение миокарда в ходе сердечного цикла). Взвешенное по T_1 и T_2 картирование сердца. Диффузионно-тензорная томография сердца (cDTI) для оценки микроструктуры миокарда <i>in vivo</i> . Магнитно-резонансная контрастная ангиография (CE-MRA) используется чаще, чем неконтрастная (NCE-MRA).
Визуализация органов брюшной полости и малого таза	Диагностика заболеваний печени, оценка состояния желчных протоков и выявление опухолей печени. Диагностика заболевания почек и мочевыводящий путей.	[40–42] [43, 44]	T_2 -взвешенная визуализация с подавлением жира и T_1 -взвешенная визуализация. Диффузионно-взвешенные изображения (DWI). Магнитно-резонансная урография - визуализации статической жидкости с использованием T_2 -взвешенных последовательностей, а также визуализации выделительной системы с использованием усиленных гадолинием T_1 -взвешенных последовательностей.
Онкология	Предоставление подробной анатомической информации о размере опухоли, ее расположении и взаимосвязи с окружающими структурами. Такие методы МРТ, такие как диффузионно-взвешенная визуализация и контрастно-усиленные МРТ, позволяют лучше выявлять и характеризовать опухоли брюшной полости. Эта информация имеет решающее значение для определения стадии заболевания, выбора вариантов лечения и мониторинга результатов лечения.	[45, 46] [47–49]	Взвешенная по T_1 , T_2 визуализация. Контрастные вещества вызывают искажения статического поля, влияющие на время релаксации ядерных спинов. Локальное снижение релаксации T_1 (положительный контраст) или релаксации T_2 (отрицательный контраст) приводят к повышению контрастности изображения.
Предоперационное планирование	Использование МРТ визуализации в хирургии для планирования операций, обеспечивая точность таких процедур, как удаление опухоли или замена суставов.	[50], [51]	Функциональная МРТ. T_1 взвешенные изображения до и после контрастирования, T_2 взвешенные изображения.
Научные исследования и разработки	Ценный исследовательский инструмент для изучения анатомии, физиологии и патологических процессов в теле человека, что ведет к прогрессу в медицинских знаниях и методах лечения.	[12, 52, 53]	Магнитно-резонансная томография и спектроскопия в сверхвысоком поле: новые задачи и новые возможности



Рис. 2. а – МРТ-сканер открытого типа (OPENMARK 4000), б – МРТ-сканер закрытого типа (Siemens MAGNETOM Verio)

закрытого типа, предназначенных для изучения всего тела пациента. За пределами обсуждения осталось достаточно много направлений использования сверхвысокопольных томографов, таких как исследования малых животных с магнитной индукцией от 4 до 12 Тл, мультиядерные варианты МРТ, прогресс в области конструирования приемно-передающих устройств и разработки методов математической обработки МРТ изображений. Это сделано с целью дальнейшего максимально подробного описания тенденции повышения заманичивающих полей в МРТ-сканерах, в результате чего повышается отношение сигнал/шум, чувствительность измерений, пространственное разрешение и качество получаемых данных о функциональной деятельности организма.

Классификация магнитно-резонансных томографов

Томографы состоят из следующих основных частей: магнита, градиентных, шиммирующих и радиочастотных катушек, охлаждающей системы, систем приема, передачи и обработки данных и системы экранирования [15]. Магнит является основной частью томографа, создающей сильное однородное магнитное поле с магнитной индукцией B_0 , необходимое для наблюдения ЯМР в объекте. По виду конструкции магнитно-резонансные (МР) томографы бывают открытого и закрытого типа (см. рис. 2).

Внутри магнита расположены градиентные катушки, предназначенные для создания

контролируемых изменений основного однородного магнитного поля B_0 по осям X, Y и Z и обеспечивающих пространственное кодирование частот прецессии ядерных магнитных моментов (см. рис. 3).

Радиочастотная катушка представляет собой одну или несколько петель проводника, создающих магнитное поле B_1 , которое направлено перпендикулярно к полю B_0 . Оно необходимо для поворота магнитных моментов ядер в объекте на 90° или 180° . Приемно-передающие РЧ катушки служат излучателями поля B_1 и приемниками РЧ энергии от отображаемого объекта.

Компьютер, управляющий работой томографа, включает в себя блок обработки данных, состоящий из субблока приема и передачи дан-

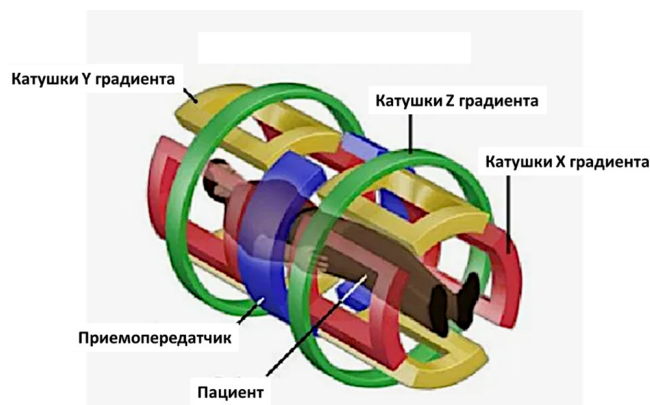


Рис. 3. Схематическое представление расположения градиентных катушек внутри основного магнита (адаптировано из работы [54])



Рис. 4. Рынок сканеров магнитно-резонансной томографии на 2022 г. (адаптировано из работы [59])

ных, субблока реконструкции изображений, субблока хранения данных и оперативной памяти и периферийных устройств ввода/вывода. Он также управляет программатором градиентов, определяющим вид и амплитуду каждого из трех градиентных полей, необходимых для пространственного кодирования сигналов ЯМР [55].

В зависимости от напряженности основного магнитного поля томографы до начала XXI века разделились на следующие группы [56, 57]:

- ✓ сверхнизкопольные (менее 0,1 Тл);
- ✓ низкопольные (0,1–0,4 Тл);
- ✓ среднепольные (0,5 Тл);
- ✓ высокопольные (1–2 Тл);
- ✓ сверхвысокопольные (свыше 2 Тл).

В силу внедрения в клиническую практику МРТ-сканеров на 3 Тл (2003 г.), а позднее – и с полем 7 Тл (2017 г. [58]), такая классификация уже устарела. Весьма вероятно, что сложившаяся к началу третьего десятилетия XXI века ситуация на рынке МР-сканеров может подсказать новый вариант классификации (см. рис. 4). Согласно маркетинговому исследованию компании Exactitude Consultancy [59], по уровню индукции магнитного поля доминируют МРТ-системы с высоким полем (от 1,5 до 3 Тл). Диапазон от 1,5 до 3 Тл обеспечивает баланс между качеством изображения и практическими соображениями, такими как стоимость проведения МРТ-исследования и снижение уровня шума систем МРТ-сканеров, что делает их широко применяемыми в клинических условиях. Прогресс в развитии МРТ-сканеров закрытого типа за последние полвека иллюстрирует рис. 5, где приведены сводные дан-

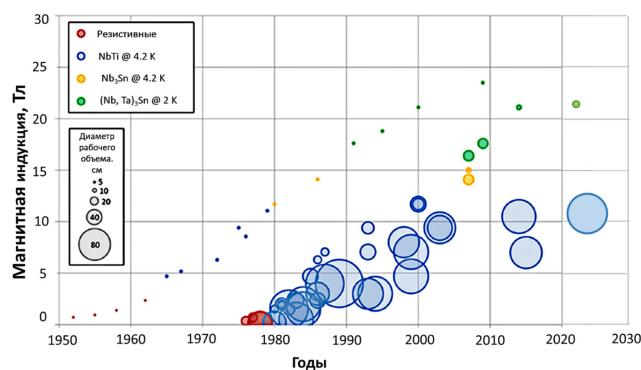


Рис. 5. Прогресс в увеличении индукции магнитного поля и диаметра теплового объема МРТ-сканеров для аналитических (точки слева), биомедицинских и доклинических исследований (маленькие кружки посередине), а также магнитно-резонансной томографии человека (большие кружки справа) (адаптировано из работы [60])

ные как по исследовательским, так и по клиническим МРТ-сканерам.

Более высокая индукция магнитного поля улучшает соотношение сигнал/шум, что имеет решающее значение для улучшения четкости изображения и снижения потребности в использовании контрастных веществ. Это особенно полезно при визуализации мягких тканей, неврологических структур и компонентов скелетно-мышечной системы, где точная визуализация имеет решающее значение для планирования лечения. Более того, большая величина поля B_0 также дает возможность для применения таких методов исследования как функциональная МРТ и магнитно-резонансная ангиография.

В областях применения МРТ-сканеров доминируют, согласно [59], неврологические исследования (см. рис. 6). Неврологические расстройства, включая заболевания головного и спинного мозга, требуют детальной визуализации для постановки правильного диагноза. Возможности МРТ-сканеров с высоким разрешением позволяют визуализировать сложные структуры головного мозга, что позволяет выявлять такие аномалии, как опухоли, сосудистые нарушения и дегенеративные заболевания.

Главные достижения в области МРТ за последние годы связаны с существенным увеличением скорости получения изображений и повышением пространственного разрешения.



Рис. 6. Основные направления применения сканеров магнитно-резонансной томографии по данным на 2022 г. (адаптировано из работы [59])

Прежде всего, это связано со значительным ростом амплитуды и скорости нарастания градиентных полей в 5–10 раз (см. рис. 7). Сокращение времени повторения последовательности (TR) и времени появления эхо-сигнала (TE) до нескольких миллисекунд позволило реализовать новые импульсные последовательности для магнитно-резонансной ангиографии, магнитно-резонансных исследований сердца, трехмерного сбора данных, функциональной МРТ, изучения перфузии. Новые конструкции матричных радиочастотных катушек дали возможность реализовать параллельный (одновременный) сбор данных от 2–4 областей исследуемого органа, в результате чего во столько же раз сокращается время исследования [12].

Ведущей тенденцией развития МРТ практически с момента возникновения этой технологии являлось стремление перенести клинические исследования из слабого магнитного поля (до 1 Тл) в высокое поле (от 1 до 3 Тл), а в последнее время – в ультравысокое магнитное поле (до 7 Тл). Использование магнитного поля с большой индукцией позволило улучшить временное разрешение и уменьшить длительность исследования, что особо важно для визуализации движущихся органов, таких как сердце, органы брюшной полости (печень, кишечник) [12]. Уже в полях 3 Тл стало возможным выполнять исследования печени и других паренхиматозных органов на одной задержке дыхания с высоким пространственным разрешением и контрастом мягких тканей, что особенно важно в диагностике онкологических заболеваний [61]. Благодаря улучшению временного разре-

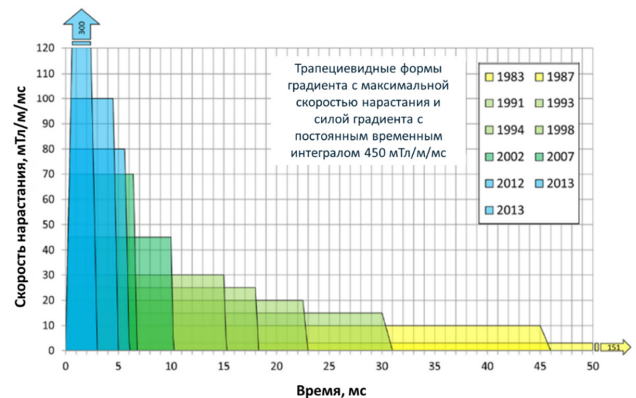


Рис. 7. Эволюция в создании трапецевидных форм градиента магнитного поля МРТ-сканеров (адаптировано из работы [60])

шения появилась возможность выполнять такие требовательные к скорости получения изображений исследования, как морфологическую и функциональную диагностику в различных фазах сердечного цикла [62]. В сверхвысокопольной МРТ также появилась уникальная возможность использовать парамагнитные контрастные вещества для перфузионно-взвешенной визуализации, которая активно применяется при оценке кровоснабжения не только сердца, но и головного мозга [63]. Современные магнитно-резонансные томографы с очень высокими полями позволяют не только исследовать структурные изменения центральной нервной системы (ЦНС), но и оценивать церебральный метаболизм, кровоток и функциональное состояние разных отделов головного мозга. В работах [18, 64] приведены обзоры передовых технологий нейровизуализации: диффузионно-тензорной МРТ, взвешенных по магнитной восприимчивости изображений, функциональной МРТ, МРТ-морфометрии. В работе [16] обсуждены и многоядерные исследования, направленные на изучение контрастности изображений магнитного резонанса, вызванной экзогенными (фтор-19, гиперполяризованные инертные газы) и «встроенными» (фосфор-31, натрий-23) контрастными веществами, с целью получения потенциальной клинической пользы. Особое внимание уделено методам МРТ, основанным на переносе намагниченности, которые направлены на выявление дефектов миелинизации аксонов в мозге, а также функциональной МРТ, которая характеризует динамическую реакцию мозга на внешние раздражители.

Клинические применения сверхвысокопольных МРТ сканеров

Магнитно-резонансные томографы с полями, превышающими 3 Тл, используются преимущественно в научно-исследовательских центрах, и на начало 2021 г. в мире работало чуть более ста аппаратов МРТ с полем 7 Тл [53, 65].

На рубеже XXI века были разработаны, изготовлены и использованы *in vivo* первые системы сверхвысокопольной магнитно-резонансной томографии с индукцией магнитного поля $B_0 \geq 7$ Тл [66, 67]. Основываясь на данных работах и последующих разработках, в 2017 г. было получено первое одобрение регулирующих органов для использования МРТ-сканера полного тела в клинических исследованиях [58]. С этого момента появилось несколько МРТ-сканеров с магнитным полем 9,4 Тл, использовавшихся только для проведения научно-исследовательских работ [68, 69].

Несмотря на то, что МРТ с магнитной индукцией 7 Тл уже получила одобрение для использования в клинической практике, существуют определённые проблемы с безопасностью, связанные с высокой величиной магнитного поля. Воздействие магнитного поля на металлические имплантаты, рассеивание радиочастотной энергии и нагрев являются факторами, влияющими на безопасность при 7 Тл. Такие биоэффекты у пациентов как головокружение, вертиго, ложное ощущение движения, тошнота, нистагм, магнитофосфены (вспышки света, которые видны, когда человек подвергается воздействию изменяющегося магнитного поля) более распространены и выражены при 7 Тл, чем при более низких значениях магнитного поля. В статьях [70, 71] рассмотрены вопросы безопасности, связанные с МРТ при индукции магнитного поля 7 Тл (см. рис. 8).

Обсуждаются причины, вызывающие опасения по поводу безопасности при такой напряжённости магнитного поля, а также потенциальные подходы к снижению рисков для пациентов и медицинских работников. Рекомендации по безопасному проведению магнитно-резонансных исследований, а также контролю состояния пациента до и во время исследования, изложены в работе [72].

Магнитно-резонансная томография опорно-двигательного аппарата человека в полях до 7 Тл привлекла к себе повышенное внимание с появлением томографов нового по-

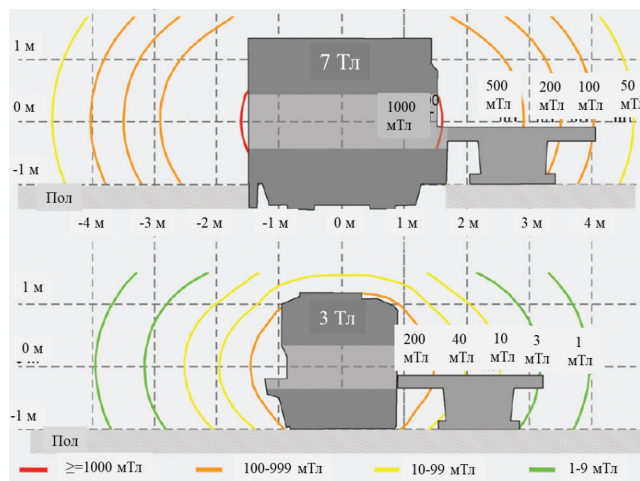


Рис. 8. Сравнение краевых магнитных полей двух клинических МРТ-систем; сверху – краевые поля для 7-Тл МРТ-системы (Magnetom Terra, Siemens Healthineers); снизу – краевые поля для 3-Тл МРТ-системы (Magnetom Skyra, Siemens Healthineers); уровни этих полей за пределами магнитов обозначены контурами, которые окрашены в соответствии с диапазонами напряжённости поля (адаптировано из работы [70])

коления, коммерчески доступных катушек для конечностей и существенного улучшения методов устранения артефактов. В обстоятельном обзоре [73] проведен сравнительный анализ результатов визуализации таких анатомических структур как суставные хрящи, мениски, сухожилия, периферические нервы, мышцы, полученные в полях 3 Тл и 7 Тл за последнее десятилетие (см. рис. 9).

Сделано заключение, что в отличие от перехода с 1,5 Тл на 3 Тл, когда более сильные магнитные поля использовались для ускорения получения изображений, МРТ-сканеры с полем 7 Тл чаще всего используются для получения лучшего пространственного разрешения при визуализации мелких анатомических структур опорно-двигательного аппарата и внутренних нарушений в суставах. Для клинической МРТ коленного сустава и других частей опорно-двигательного аппарата, таких как стопа и позвоночник, при 7 Тл также требуются специальные катушки для конкретных анатомических областей [73–75].

Так, например, в работе [76] описано успешное использование 19-канальной приёмной матрицы с 4-канальной передающей матрицей, разработанной для магнитного поля

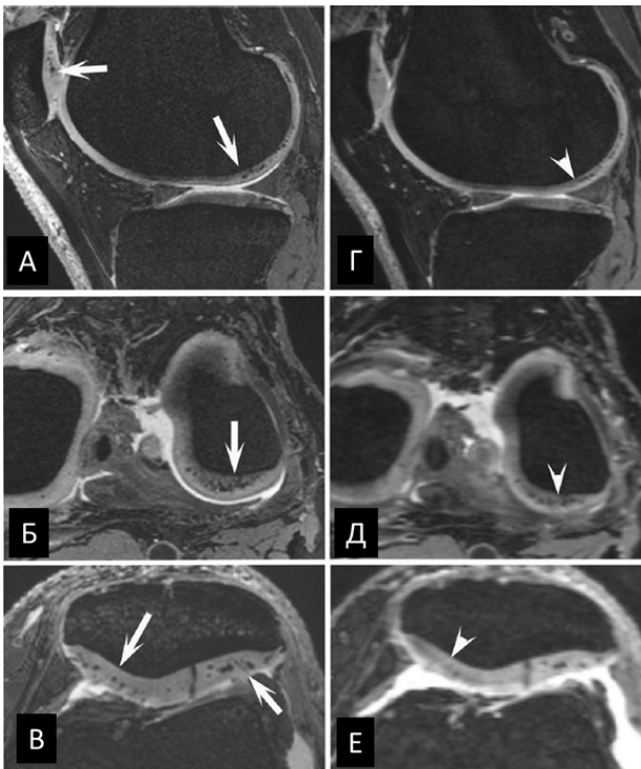


Рис. 9. Пространственно совпадающие 3D-изображения в режиме двойного эхо-сигнала (DESS) у 66-летнего мужчины. 7-Тл МРТ (А–В) и 3-Тл МРТ (Г–Е) левого колена. При 7 Тл гипоинтенсивные отложения кристаллов кальция в бедренно-большеберцовом и надколенниковом хрящах хорошо и чётко видны (стрелки), в то время как при 3-Тл МРТ они видны гораздо хуже, даже без эквивалентного изменения сигнала (головки стрелок) (адаптировано из работы [73])

7 Тл. Эффективность передачи РЧ мощности и удельная скорость ее поглощения была изучена как методом картирования, так и с помощью электромагнитной модели. Соотношение сигнал/шум (SNR) и усиление шума для параллельной визуализации были сравнены с коммерческим 19-канальным массивом для головы и шеи в сканере с индукцией магнитного поля 3 Тл и 4-канальным массивом для позвоночника сканера с индукцией магнитного поля 7 Тл (см. рис. 10). Эффективность работы массива качественно продемонстрирована на добровольцах с помощью изображений с высоким разрешением (до 300 мкм в плоскости).

Определение и подтверждение клинических случаев использования помогает понять, когда МРТ при более низкой магнитной индукции является достаточной, а когда МРТ при 7 Тл будет более эффективной. В работе [77] по-

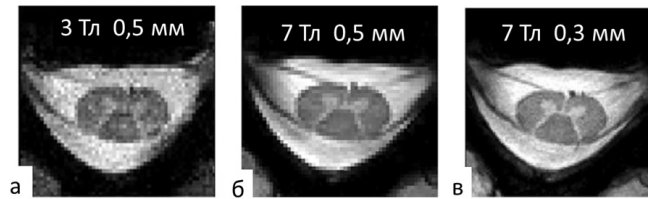


Рис. 10. МРТ позвоночника C5-C6 в 3-Т и 7-Т у здорового добровольца: 3-Т МРТ в T_2 -режиме с разрешением $0,5 \times 0,5 \times 3$ мм (а); 7-Т МРТ в T_2 -режиме с разрешением $0,5 \times 0,5 \times 3$ мм (б); 7-Т МРТ в T_2 -режиме с разрешением $0,3 \times 0,3 \times 3$ мм (в) (адаптировано из работы [76])

казано, что магнитно-резонансная томография в полях 7 Тл позволяет лучше выявлять очаги рассеянного склероза (РС) и определять стадию поражения головного и спинного мозга. Она дает возможность лучше идентифицировать признаки поражения центральной вены и выявить воспаление лептоменингеальной области, а также визуализировать поражения коры головного мозга при рассеянном склерозе. Томография в поле 7 Тл помогает отличить РС от его имитаторов, включая нейромиелит, системную красную волчанку и синдром Сусака. Предполагается, что МРТ на ^{23}Na в поле 7 Тл может помочь в понимании патологии рассеянного склероза.

В работе [78] подробно описано использование коммерческого МРТ-сканера с полем 7 Тл для клинической визуализации головного мозга, включая показания к исследованиям, протоколы, а также возникающие проблемы и их решения. Конкретные клинические показания, при которых такие МР сканеры могут быть использованы для визуализации головного мозга, включают оценку опухоли головного мозга с возможной перфузионной визуализацией, планирование лучевой терапии, оценку рассеянного склероза и других демиелинизирующих заболеваний, оценку болезни Паркинсона. В статье [78] представлены подробные протоколы, включая параметры импульсных последовательностей при различных показаниях. Примеры для одного из вариантов исследований представлены в табл. 4. Приведенные в этой таблице протоколы используются для выявления патологий ЦНС при таких симптомах, как головная боль, травма, головокружение, спутанность сознания, деменция и транзиторная ишемическая атака, а также в ситуациях, когда внутривенное введение контрастных веществ

Таблица 4

**Протоколы исследований в поле 7 Тл без использования контрастов
(адаптировано из работы [78])**

Импульсная последовательность	Плоскость сканирования	Размер матрицы	FOV, мм	Размер воксела, мм	Время сканирования, мин:сек	TR/TE, мс
3D FS T ₁ -взвешенная MP-RAGE	Сагиттальная	224 × 224	150	0,3 × 0,3 × 0,3	6:32	3000/2,49
FS FLAIR	Аксиальная	320 × 256	220	0,7 × 0,7 × 2,0	3:38	9000/74
FS T ₂ -взвешенная TSE	Аксиальная	704 × 704	210	0,1 × 0,1 × 3,0	6:08	3900/61
T ₂ *-взвешенная	Аксиальная	620 × 620	210	0,2 × 0,2 × 1,5	9:35	1080/20
DWI RESOLVE	Аксиальная	192 × 144	230	1,2 × 1,2 × 2,0	2:49	6200/46 и 72
SWI	Аксиальная	640 × 640	220	0,2 × 0,2 × 1,4	6:28	22/15

Примечание: FS – насыщенная жиром ткань, TSE – турбоспин-эхо, DWI – диффузионно-взвешенная визуализация, RESOLVE – сегментация длинных последовательностей эхо-сигналов, SWI – взвешенная по восприимчивости визуализация

противопоказано. Общее время сканирования составляет примерно 25 мин.

Опыт авторов работы [78] по успешному использованию половинной дозы контрастного вещества для всех 7-Тл томографических исследований головного мозга с контрастным усилением является многообещающим. Следует отметить, авторы работы [78] регулярно выполняли перфузионную визуализацию с динамической чувствительностью с помощью инъекции в руку, достигая значительно лучшего пространственного разрешения, чем при МРТ на магните 3 Тл (см. рис. 11).

Несколько исследований показывают, что 7-Тл МРТ может предоставить более полную информацию о микроциркуляции и некрозе, чем 1,5-Тл и 3-Тл МРТ, и может способствовать ранней стратификации пациентов с глиомами (см. рис. 12) [79] в соответствии с последними классификационными схемами Всемирной организации здравоохранения [80].

Предоперационная оценка области резекции с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии рассмотрена в работе [81]. Обсуждено предоперационное фМРТ-картирование в сверхвысоких магнитных полях, то есть при индукции магнитного поля ≥ 7 Тл, с учетом использования искусственного интеллекта (ИИ), а также нейрохирургия с использованием роботов. Показано, что потенциал субмиллиметрового фМРТ-картирования может помочь лучше оценить неопределённость в отношении границ резекции, хотя геометрические искажения в сверхвысоких магнитных полях могут снизить точность фМРТ-карт. Функ-

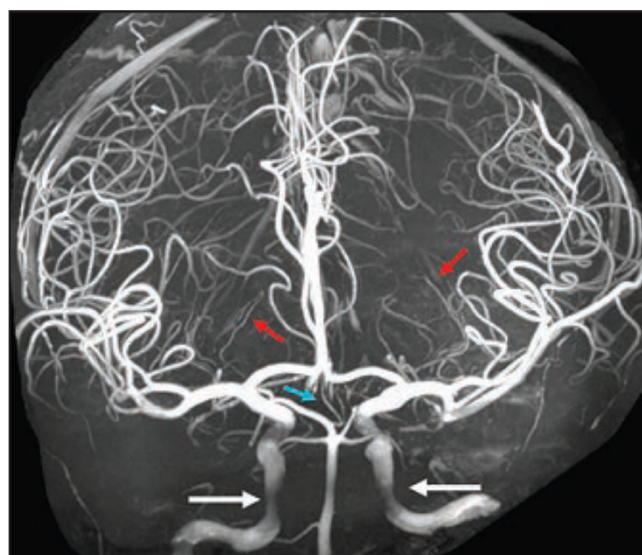


Рис. 11. Визуализация внутричерепных артерий 38-летнего здорового мужчины при МРТ головного мозга с магнитной индукцией 7 Тесла. Трёхмерное изображение в проекции с максимальной интенсивностью, полученное при TOF MRA (толщина среза 0,25 мм; матрица 640×500; поле зрения 180 мм; размер воксела 0,1×0,1×0,3 мм; TR/TE 26/7) демонстрирует отличную детализацию внутричерепных артерий. Артерия Першерона (бирюзовая стрелка) отходит от сегмента P1 правой задней мозговой артерии и рано разделяется на правую и левую таламические перфоранты. Медиальную и латеральную лентикулостриарные артерии (красные стрелки) можно проследить до более тонких дистальных ветвей в базальных ганглиях (адаптировано из работы [78])

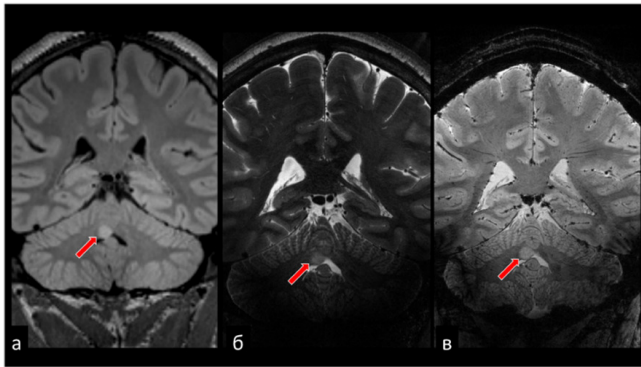


Рис. 12. Гамартома, выявленная с помощью магнитно-резонансной томографии при 3 Тл и дополнительно охарактеризованная при 7 Тл. Корональная T_2 -взвешенная инверсионно-восстановленная магнитно-резонансная томограмма при 3 Тл (а) демонстрирует гипертензивное образование (красные стрелки) в правом полушарии мозжечка. Корональная T_2 -взвешенная (б) и корональная взвешенная по восприимчивости (в) магнитно-резонансная томограмма, полученные при 7 Тл, не показывают признаков микроциркуляции в пределах образования (адаптировано из работы [79])

циональная МРТ с блочным, событийным или смешанным дизайном обеспечивает гибкость в отображении функций мозга в соответствии с интересующей функцией и способностью пациента выполнять задачу [82]. В ряде исследований уже были протестированы и сопоставлены различные наиболее надёжные подходы для предоперационной оценки [83, 84].

Потенциальные области применения ИИ включают шумоподавление и удаление артефактов, создание карт фМРТ с высоким разрешением и точное объединение или сопоставление анатомических и фМРТ-карт. Такие карты, дополненные ИИ, будут предоставлять высококачественные исходные данные для роботизированных хирургических систем, тем самым повышая их точность и надёжность. В конечном счете, прогресс в области фМРТ в сверхвысоких магнитных полях будет способствовать клинически полезному взаимодействию между фМРТ, искусственным интеллектом и роботизированной нейрохирургией [85, 86] (см. рис. 13).

Влияние величины магнитного поля на качество изображений и потенциальные артефакты при МРТ брюшной полости без контрастного усиления в магнитных полях с индук-

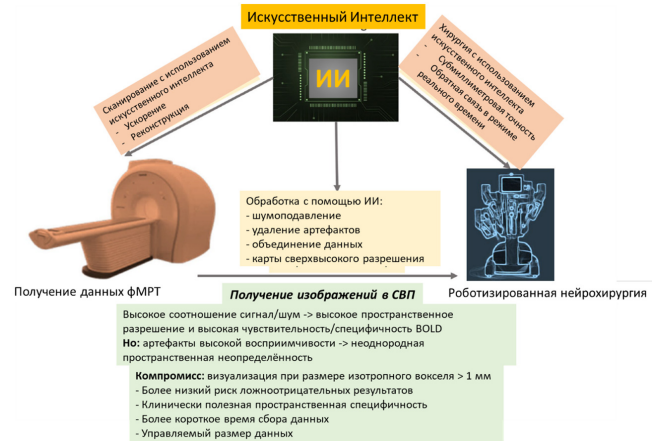


Рис. 13. Схематическое изображение взаимодействия трёх передовых технологий для предоперационного картирования с помощью фМРТ: сканирование в диапазоне сверхсильных магнитных полей, искусственный интеллект и роботизированная нейрохирургия. Искусственный интеллект может повысить эффективность как предоперационного картирования с помощью фМРТ во время сбора и обработки данных, так и роботизированной хирургии для повышения точности, моделирования деформации тканей мозга и управления хирургическими инструментами в режиме реального времени (адаптировано из работы [81])

цией 1,5; 3 и 7 Тл исследованы в работе [87]. Найдено, что МРТ в полях 1,5 и 3 Тл показала сопоставимые результаты по всем оцениваемым параметрам, тогда как МРТ в поле 7 Тл выявила значительные различия при взвешенной по T_1 и T_2 визуализации (см. рис. 14). Преимущества МРТ с полем 7 Тл включали более высокое пространственное разрешение и гиперинтенсивный сигнал от сосудов без контрастного усиления, что потенциально позволяет более точно диагностировать заболевания паренхимы и сосудов брюшной полости.

Таламус – это расположенная в центре мозга неоднородная структура, которая играет важнейшую роль в различных сенсорных, двигательных и когнитивных процессах. Однако визуализировать отдельные ядра таламуса с помощью традиционных методов МРТ сложно. Эта трудность препятствует воздействию на конкретные ядра с помощью клинических вмешательств, таких как глубокая стимуляция мозга (DBS). В статье [88] представлен DiMANI – новый метод прямой визуализации ядер таламуса с помощью диффузионной МРТ (dMRI). Контраст DiMANI вычисляется путём усредне-

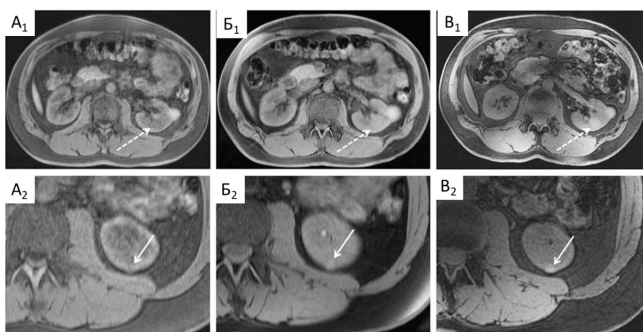


Рис. 14. 3D-визуализация VIBE (volumetric interpolated breath-hold examination – исследование задержки дыхания с объемной интерполяцией) при 1,5 Тл (А), 3 Тл (Б) и 7 Тл (В) у одного и того же пациента. 3D-визуализация VIBE при 7 Тл продемонстрировала диагностический потенциал в выявлении патологий, так как она показала вторую кисту почки (пунктирная стрелка на рисунке В₁), которая не была видна при более низких полях. Во втором ряду стрелками показана еще одна очень маленькая киста почки у того же пациента, которая также лучше всего видна при 7 Тл (В₂) [87]

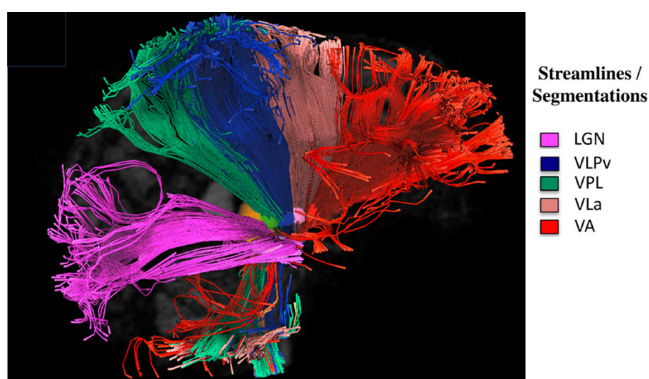


Рис. 15. Результаты детерминированной трактографии в областях LGN, VPL, VLPv, VLa и VA (трактография проводилась без разделения коры на участки). Все сокращения взяты из атласа Мореля [89]. (адаптировано из работы [88])

ния взвешенных по диффузии объемов по вокселям, что позволяет напрямую различать субъядра таламуса у отдельных людей (см. рис. 15).

Продemonстрировано, что DiMANI может обеспечивать схожие характеристики при МРТ в полях 3 Тл и 7 Тл, используя разное количество направлений диффузии. Показано, что DiMANI – это воспроизводимый и клинически значимый метод прямой визуализации субъа-

дер таламуса. Это имеет значительные последствия для разработки новых мишеней DBS и оптимизации терапии DBS [88].

Томографы с гиперсильными магнитными полями

Основным недостатком МРТ является ее ограниченная чувствительность в силу малой равновесной намагниченности при комнатной температуре, величина которой определяется распределением Больцмана. Одним из способов устранения этого ограничения являются более сильные магнитные поля, в которых получают МРТ изображения. Альтернативным способом является изменение соотношения сигнал/шум (SNR), которое линейно увеличивается с ростом магнитного поля в квазистатическом приближении (см. рис. 16).

Существует тесная взаимосвязь между SNR, величиной магнитного поля B_0 и производительностью параллельной визуализации (ПВ), достигаемой за счет использования матричных РЧ катушек, особенно при исследовании всего мозга, в которых ускорение с помощью методов ПВ становится необходимым для эффективного охвата всего объема [91].

Параллельная визуализация с использованием массивов приёмных катушек стала уже

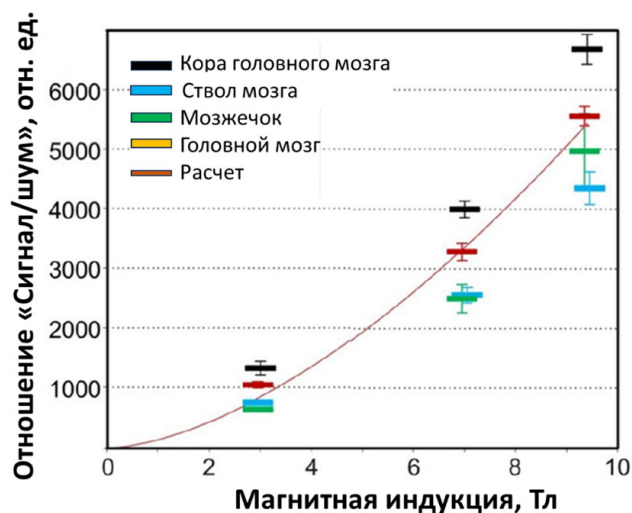


Рис. 16. Значения отношения сигнал/шум (SNR) в четырёх различных отделах мозга в зависимости от индукции статического магнитного поля B_0 . Красная линия представляет результаты подгонки SNR по всему головному мозгу как $SNR=B_0^{1.65}$ (адаптировано из работы [90])

достаточно широко используемым вариантом МРТ. Используя эффект внутреннего кодирования чувствительности катушек в дополнение к градиентному кодированию, параллельное получение изображений позволяет снизить плотность выборки в k -пространстве. Это преимущество можно использовать для улучшения МРТ-исследований различными способами, например, для сокращения времени сканирования, повышения разрешения и охвата, устранения артефактов, снижения мощности радиочастотного излучения и даже уменьшения акустического шума [92].

Дополнительным стимулом для использования более высоких магнитных полей является повышенная чувствительность к различиям в магнитной восприимчивости тканей, и этот превосходный контраст тканей особенно важен при патологиях, связанных с отложением железа или изменениями в миелине или гемодинамике. Функциональная МРТ – ещё один яркий пример применения, которое выигрывает от повышенной специфичности, обеспечиваемой более высоким соотношением сигнал/шум при обнаружении изменений значений восприимчивости, в данном случае связанных со сдвигами в концентрации дезоксигемоглобина и оксигемоглобина в крови [93].

Спектральное разрешение между отдельными метаболитами также улучшается при более высоких магнитных полях. Благодаря сочетанию повышенного отношения сигнал/шум и спектрального разрешения такие методы, как химический обменный перенос насыщения (CEST) и магнитно-резонансная спектроскопическая визуализация (MRSI), должны давать непропорционально больше преимуществ, что было продемонстрировано при сравнении 3 Тл, 7 Тл и 9,4 Тл [94].

Гипервысокопольные МРТ с полями более 10 Тл, предназначенные для проведения исследований полного человеческого тела, являются уникальными и имеются на 2024 г. только в двух странах: США [95] и Франции [96]. Первый томограф с гиперсильным магнитным полем – это система Siemens MAGNETOM 10.5 с полем 10,5 Тл (частота протонного резонанса 450 МГц) в университете Миннесоты (США), которая была установлена в 2013 г., но не получила разрешение на создание изображений *in vivo* до 2017 г. Магнит томографа обладает пассивной защитой, весит 110 тонн, его длина 4,1 м, наружный диаметр 3,2 м. Диаметр теплового отверстия 88 см, что делает его пригод-

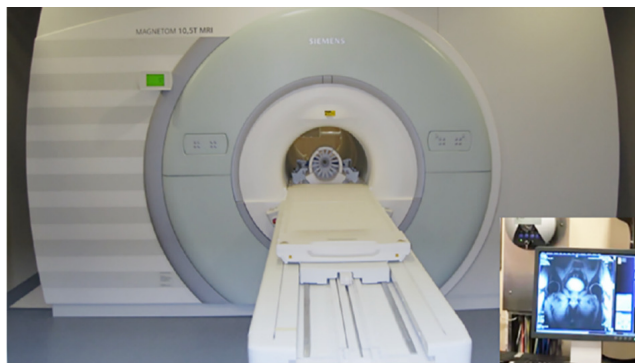


Рис. 17. Внешний вид МРТ-сканера в университете Миннесоты (Центр исследований магнитного резонанса), на котором в декабре 2018 г. успешно провели первое сканирование с помощью 10,5-Тл магнита для визуализации всего тела [97]

ным для визуализации всего тела [97] (см. рис. 17). Данная система одобрена только для исследовательских целей, и результаты *in vivo* были представлены как для мозга макака [98, 99] и человека [100, 101] (см. рис. 18).

Вершиной технических возможностей МРТ на 2024 г. является магнитно-резонансный томограф Iseult в исследовательском центре неврологии Neurospine (Paris-Saclay, France). В его состав входит активно экранированный магнит для МРТ всего тела, обеспечивающий однородное и стабильное магнитное поле с магнитной индукцией 11,7 Тл (см. рис. 19). После почти 20 лет исследований и разработок в 2019 г. на МРТ Iseult впервые успешно достигнута целевая магнитная индукция. В статье [96] рассмотрены ввод в эксплуатацию и первые результаты визуализации.

Высокое магнитное поле томографа обеспечивает лучшее качество изображения (см. рис. 20). Пространственное разрешение сканирования составляет 200 мкм в трех измерениях. Более того, обработанные изображения мозга можно получить за рекордно короткое время (около 4 мин), тогда как при использовании оборудования с полем 3 Тл этот процесс занимает в среднем от 30 до 45 мин. Разработчики системы считают, что помимо фундаментальных исследований мозга, МРТ-сканер Iseult может помочь врачам в диагностике и лечении нейродегенеративных заболеваний, так как становится возможным выявить их “химические сигнатуры”, что невозможно в сканерах с полями менее 7 Тл. При МРТ в полях более 10 Тл станут доступными для визуализации такие ядра, как ^{19}F , ^{23}Na , ^{31}P , ^{17}O , ^{39}K , ^{35}Cl , или

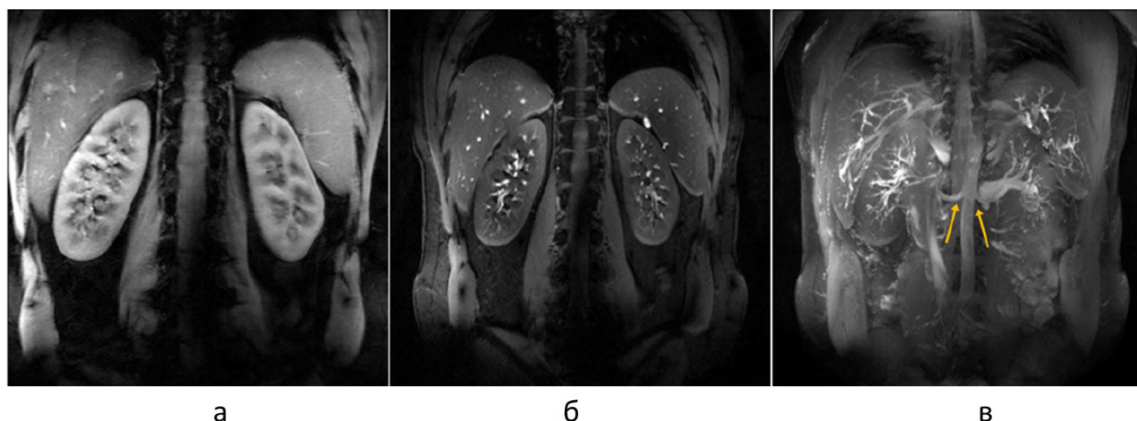


Рис. 18. Пример изображений почек, полученных с задержкой дыхания и подавлением сигнала от липидов, включая 2D-корональную анатомическую МРТ (а) и МРТ с усилением сигнала от притока крови (б). На фотографии (в) показана проекция максимальной интенсивности (МІР) по всей серии изображений, представленных на (б), которая демонстрирует сильное усиление сигнала от притока крови и подавление фона, обеспечиваемые увеличенным T_1 -временем тканей и крови при 10,5 Тл. На изображении МІР хорошо видны начала почечных артерий (жёлтые стрелки), а также дистальные артериальные ветви [101]

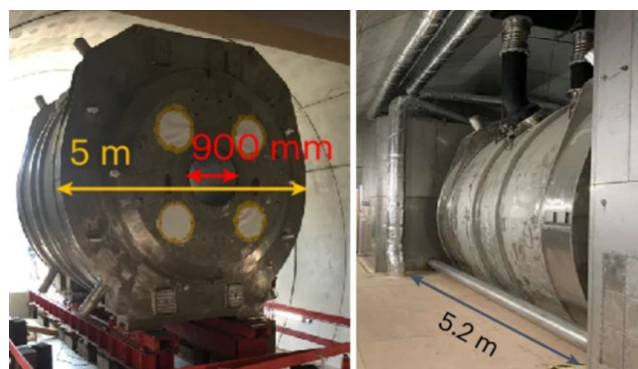
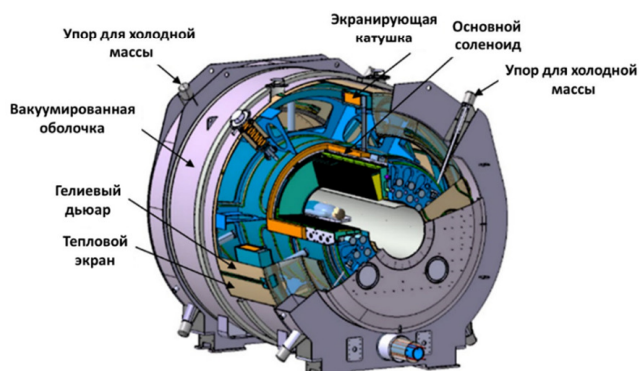


Рис. 19. Схема и внешний вид магнитной системы Iseult, показывающая основную катушку и две активные экранирующие катушки. Магнит весит 132 тонны, имеет внешний диаметр и общую длину около 5 м, диаметр рабочего туннеля составляет 90 см [96, 102]

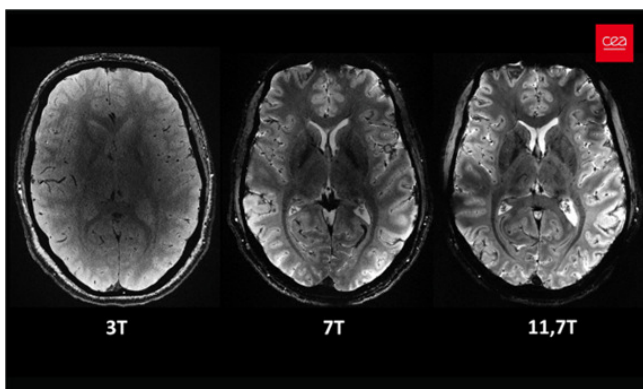


Рис. 20. Аксиальный срез человеческого мозга с одним и тем же временем получения изображения, но при разных магнитных полях. © CEA (French Alternative Energies and Atomic Energy Commission) [104]

^{13}C , которые особенно интересны для изучения как нормальной физиологии, так и патологий головного мозга, органов брюшной полости, сердца или опорно-двигательного аппарата [103].

Следуя работе [103], упомянем две магнитно-резонансные томографические системы с напряжённостью магнитного поля 11,7 Тл, предназначенные только для изучения головного мозга. Они сейчас вводятся в эксплуатацию в Национальном институте биомедицинской визуализации и биоинженерии (Bethesda, Мериленд, США) и в Медицинском университете Гачон в Инчхоне, Южная Корея. Несмотря на незначительные различия между двумя системами, в обоих случаях магниты намотаны из

NbTi проволоки и имеют схожие параметры: пассивное экранирование и теплый объем диаметром 70 см.

Исследования возможности использования в области медицины и наук о жизни (МРТ, фМРТ, МР-спектроскопия) более сильных магнитных полей – вплоть до 20 Тл, активно проводятся со второго десятилетия XXI века [103, 105, 106]. Согласно последней работе, приведем некоторые цели в области нейробиологии, которые обосновывают необходимость масштабных усилий по расширению возможностей МРТ:

- ✓ нейронные сети с разрешением менее 0,2 мм;
- ✓ локальная архитектура мозга с разрешением 0,05 мм с помощью МРТ с взвешиванием по восприимчивости;
- ✓ взаимосвязь между функциональными паттернами и психическими расстройствами
- ✓ активность и пластичность мозга, выявленные с помощью CEST;
- ✓ картирование регионального окисления глюкозы с использованием сигнала бикарбоната ^{13}C ;
- ✓ определение концентрации квадрупольных ядер (Na, Cl, K) для отражения мембранных потенциалов, связанных с психическими состояниями.

На сегодняшний день МРТ-сканеры для головы и всего тела человека работают при индукции магнитного поля менее 12 Тл. В них используют NbTi в качестве сверхпроводящего элемента (см. рис. 21). И хотя в сообществе специалистов по МРТ широко распространено мнение, что магнитная технология не позволяет создавать магниты с более высокой индукцией, более сильные магнитные поля в крупных конструкциях не только возможны [106], но и начинают проектироваться (см. ниже). Для достижения магнитных полей с индукцией более 11,7 Тл потребуется Nb₃Sn, провода, которые сохраняют сверхпроводящие свойства до ~25 Тл. Для магнитов с индукцией более 16 Тл потребуются высокотемпературные сверхпроводящие проводники на основе ReBCO, Bi2212 или Bi2223 сверхпроводящих материалов (Re – редкоземельный элемент, обычно Y или Gd) (см. рис. 21).

Так, германская сеть визуализации в сверхвысоком поле (GUF) определила стратегическую цель по созданию МРТ-системы всего тела человека с полем 14 Тл в качестве приоритетного национального исследовательского ре-

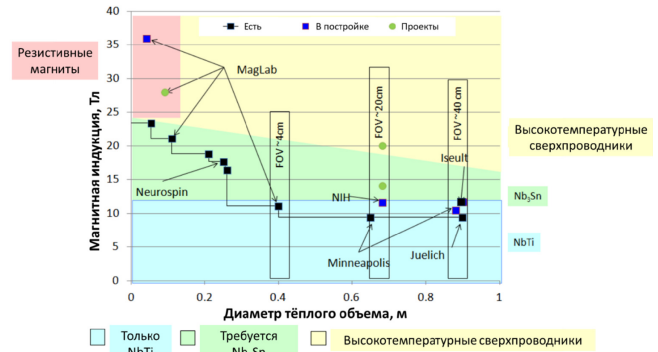


Рис. 21. Основные параметры магнитов для МРТ-сканеров. Чёрными квадратами обозначены магниты, которые в настоящее время работают. Синими квадратами обозначены магниты, которые в настоящее время строятся, ремонтируются или вводятся в эксплуатацию. Зелёными кружками обозначены магниты, которые планируется построить. Цвета фона обозначают различные проводники, используемые для изготовления магнитов (адаптировано из работы [106])

сурса в Германии. В работе [103] кратко излагается история этой инициативы, текущее состояние проекта, мотивация для проведения МРТ-томографии и спектроскопии при такой высокой индукции магнитного поля, а также связанные с этим технические проблемы.

В конструкции магнитной системы томографа на 14 Тл с активным экранированием, разрабатываемого Китайской академией наук [107], предложено использовать комбинацию из трех соленоидов. Провода Nb₃Sn используются для внутренних слоёв катушек, где магнитное поле выше, тогда как провода из NbTi используются для внешних слоёв, включая экранирующие катушки. Длина магнита составляет примерно 3,4 м, а диаметр – около 3,56 м. Диаметр “теплого” канала достигает 84 см [108].

В Нидерландах в 2022 г. был создан консорциум из семи партнеров, возглавляемый университетом Радбауда (Нидерланды, г. Наймеген), получил грант для разработки проекта первого в мире МРТ-сканера с полем 14 Тл (проект DYNAMICS). Детальное описание подходов этого проекта дано в статье [52]. Инициаторы проекта DYNAMICS считают, что для неврологии повышенное пространственное разрешение позволит анатомически рассмотреть все слои коры головного мозга, мозжечка, подкорковых структур и внутренних ядер. Спектроскопическая визуализация позволит одновре-

менно измерять возбуждающую и тормозящую активность, характеризуя баланс возбуждения и торможения в нейронных цепях. В медицинских исследованиях (включая заболевания головного мозга) можно будет визуализировать мелкозернистые паттерны структурных аномалий и связывать эти изменения с функциональными и молекулярными изменениями.

Альтернатива: МРТ с гиперполяризованными газами

В медицинской диагностике широко применяется магнитно-резонансная томография (МРТ), которая отличается прежде всего минимальным воздействием на организм, в то же время дает обширную информацию о состоянии различных органов пациентов. Однако чувствительность МРТ-диагностики при использовании ЯМР-сигналов от протонов очень низкая, поскольку при обычных условиях поляризация протонов в магнитном поле томографа составляет порядка 10^{-5} . В последние десятилетия предпринимаются попытки повысить чувствительность МРТ путем увеличения индукции магнитного поля, применения малошумящих усилителей, введения контрастных агентов. Наиболее перспективным средством решения этих задач представляется увеличение степени поляризации магнитных моментов детектируемых ядер.

Использование в МРТ гиперполяризованных (ГП) ядер, т.е. ядер со степенью поляризации ядерных спинов, близкой к единице, что принципиально недостижимо в “нормальных” термически равновесных условиях, позволяет на несколько порядков увеличить контрастность и разрешение МРТ [17, 20, 109]. ЯМР-сигналы от ГП-ядер улавливаются при их миллимолярных концентрациях внутри организма, что позволяет визуально проследить за процессами метаболизма и исследовать отдельные функции органов. Например, стабильный ГП-поляризованный изотоп ^{129}Xe является отличным зондом в МРТ при исследованиях структуры и функции легких (см. рис. 22), а биомаркеры на его основе применимы для диагностики широкого спектра как легочных, так и других заболеваний (см. ссылки в [20]).

Высокая интенсивность ЯМР-сигналов от этих ядер позволяет на два-три порядка уменьшить требуемую величину магнитного поля, что существенно удешевляет стоимость меди-

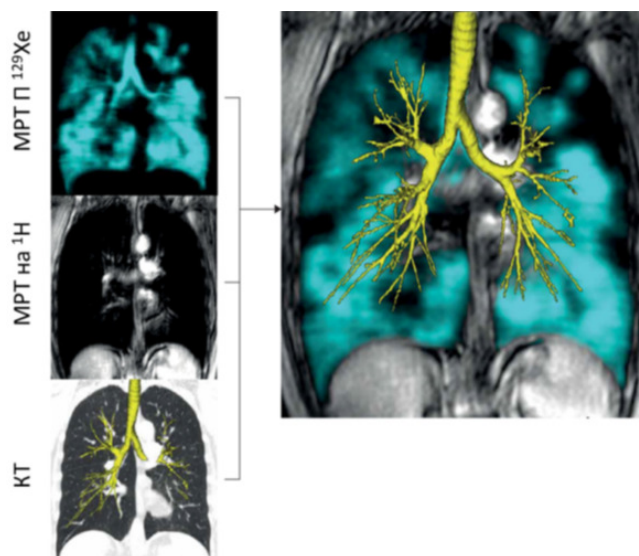


Рис. 22. Сопоставление изображений легких: слева – МРТ на ГП ^{129}Xe (голубой цвет), стандартная МРТ на протонах (^1H) и компьютерная томография дыхательных путей (КТ) (желтый цвет); справа – совмещение всех трех изображений (адаптировано из работы [110])

цинского оборудования. Кроме того, существенно, вплоть до секунд, сокращается время МРТ-обследования пациентов.

Наиболее часто используемым способом получения благородных ГП газов является метод оптической накачки щелочных атомов с последующим спиновым обменом с изотопами благородных газов (спин-обменная оптическая накачка или SEOP) [111]. В работе [112], подготовленной ведущими специалистами по получению ГП ^{129}Xe , было отмечено, что в третьем десятилетии XXI века МРТ с применением ГП ^{129}Xe может произвести революцию в клинической визуализации легких, предлагая неионизирующую высококонтрастную альтернативу рентгеновской компьютерной томографии и протонной МРТ. Более того, КТ и обычная протонная МРТ показывают структуру легочной ткани, но не дают никакой функциональной информации, тогда как в последнее время был достигнут значительный прогресс в использовании МРТ с ультракоротким временем эха (UTE и UTE-TE) для получения суррогатных показателей вентиляции [113].

Как отмечено в обзоре [20], в здравоохранении Великобритании, США, Канады и КНР уже сейчас есть возможность обеспечить клиники техническими средствами для проведения МРТ на ГП ^{129}Xe , которая используется как

мощное диагностическое средство в пульмонологии. Российское здравоохранение пока не имеет возможности проводить подобную диагностику и исследования. Российская промышленность пока не производит оборудования для ксенонной МРТ. В конце 2023 г. в НИИЭФА (Санкт-Петербург) была продемонстрирована первая отечественная установка по наработке ГП ксенона-129. Первые испытания данной установки при МРТ-диагностике были проведены в Казани в КФТИ КазНЦ РАН.

И хотя с применением современных математических приемов и подходов искусственного интеллекта низкопольные томографы обеспечивают получение изображений в необходимой мере высокого качества, следует учитывать, что с точки зрения экономики отказ от использования криогенных хладагентов в значительной степени не компенсируется стоимостью производства гиперполяризованных газов, модернизации аппаратного обеспечения томографов и обеспечением логистики доставки ГП газов в МРТ центры с учётом сравнительно малого их времени криохранения (до 6 часов).

Заключение

Сорок лет назад, когда МРТ была признана эффективным методом диагностики в клинической медицине, медицинское сообщество пришло к заключению, что можно узнать гораздо больше о человеческом теле, включая мозг и его функционирование, с помощью приборов с магнитной индукцией выше 1,5 Тл. К концу XX века стало очевидно, что данные, полученные с помощью ЯМР-томографов, которые позволяли изучать человеческий мозг при магнитной индукции 7 Тл, максимально способствовали разработке приборов с магнитной индукцией, максимально возможной для имевшихся на тот момент сверхпроводящих материалов, – 11,7 Тл.

В XXI веке ожидания значительных достижений в клинической медицине уже оправдались благодаря результатам, полученным в более чем 100 институтах и клиниках, оснащенных аппаратурой для проведения МРТ в полях 7 Тл.

За последние несколько лет были разработаны новые сверхпроводящие материалы, конфигурации кабелей и катушек соленоидов, которые позволяют проводить МР-визуализа-

цию и спектроскопию мозга в полях от 14 до 20 Тл. Магнитно-резонансная томография в этих полях может предоставить научную информацию, имеющую большое значение для биологии человека, исследований его нейрофизиологии и поведения. Однако распространение исследований магнитного резонанса *in vivo* на области, в два-три раза превосходящие существующие в настоящее время, является сложной инженерной задачей.

Список литературы

1. Анисимов НВ, Батова СС, Пирогов ЮА. Магнитно-резонансная томография: управление контрастом и междисциплинарные приложения. Ред. Пирогов ЮА. Москва: Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 2013, 244 с. Anisimov NV, Batova SS, Pirogov YuA. Magnitno-rezonansnaya tomografiya: upravlenie kontrastom i mezhdisciplinarnye prilozheniya. Red. Pirogov YuA. Moskva: Fizicheskij fakul'tet MGU imeni M.V. Lomonosova, 2013, 244 s. (In Russ). <https://istina.msu.ru/publications/book/4981506/>. Accessed March 15, 2025.
2. Мэнсфилд П. Быстрая магнитно-резонансная томография. Успехи физических наук. 2005; 175 (10): 1044-52. Mensfild P. Bystraya magnitno-rezonansnaya tomografiya. Uspekhi fizicheskikh nauk. 2005; 175 (10): 1044-52 (In Russ.) <https://doi.org/10.3367/UFNr.0175.200510e.1044>.
3. Лотербур ПК. Вся наука – междисциплинарна – от магнитных моментов до молекул и человека. Успехи физических наук. 2005; 175 (10): 1040-3. Loterbur PK. Vsyaya nauka - mezhdisciplinarna - ot magnitnyh momentov do molekul i cheloveka. Uspekhi fizicheskikh nauk. 2005; 175 (10): 1040-3 (In Russ.) <https://doi.org/10.3367/UFNr.0175.200510d.1040/>.
4. Raymond Damadian. From Wikipedia, the free encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Raymond_Damadian. Accessed March 15, 2025.
5. Иванов ВА. Способ определения внутреннего строения материальных объектов. Авторское свидетельство SU 1 112 266 A1 от 21 03 1960.

- Ivanov VA. Sposob opredeleniya vnutrennego stroeniya material'nyh ob"ektov. Avtorskoe svidetel'stvo SU 1 112 266 A1 ot 21 03 1960 (In Russ). https://yandex.ru/patents/doc/SU1112266A1_19840907. Accessed March 16, 2025.
6. Richard R. Ernst. From Wikipedia, the free encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Richard_R._Ernst. Accessed March 18, 2025.
 7. Скворцова ВИ, Буренчев ДВ, Гусева ОИ и др. Новая импульсная последовательность МРТ. Опыт применения в неотложной нейрорадиологии. Журнал неврологии и психиатрии. 2010; 4 (2): 46-51.
Skvorcova VI, Burenchev DV, Guseva OI i dr. Novaya impul'snaya posledovatel'nost' MRT. Opyt primeneniya v neotlozhnoj nejroradiologii. Zhurnal nevrologii i psikiatrii. 2010; 4 (2): 46-51 (In Russ). <https://www.mediasphera.ru/issues/zhurnal-nevrologii-i-psikiatrii-im-s-s-korsakova/2010/4/downloads/ru/031997-7298201048>. Accessed December 18, 2024.
 8. Семенова НА, Манжурцев АВ, Меньшиков ПЕ и др. Магнитно-резонансная спектроскопия: неинвазивные исследования метаболизма мозга человека в норме и патологии. Успехи физиологических наук. 2019; 50 (1): 58-74.
Semenova NA, Manzhurcev AV, Men'shchikov PE i dr. Magnitno-rezonansnaya spektroskopiya: neinvazivnye issledovaniya metabolizma mozga cheloveka v norme i patologii. Uspekhi fiziologicheskikh nauk. 2019; 50 (1): 58-74 (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0301179819010107>.
 9. Минаков ЕИ, Серегин ПС. Импульсные последовательности магнитно-резонансной томографии. Вестник новых медицинских технологий. 2011; XVIII (3): 265-7.
Minakov EI, Seregin PS. Impul'snye posledovatel'nosti magnitno-rezonansnoj tomografii. Vestnik novyh medicinskih tekhnologij. 2011; XVIII(3): 265-7. (In Russ.) <https://cyberleninka.ru/article/n/impulsnye-posledovatelnosti-magnitno-rezonansnoy-tomografii>. Accessed January 10, 2025.
 10. Bernstein MA, King KF, Xiaohong Joe Zho. Handbook of MRI Pulse Sequences: Elsevier Academic Press; 2004: 1040 P. https://openlibrary.org/books/OL7325751M/Handbook_of_MRI_Pulse-Sequences. Accessed January 15, 2025.
 11. Ulmer S, Jansen O. fMRI: Basics and Clinical Applications Berlin Heidelberg: Springer. 2020: 447 P. 3-rd Edition. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-41874-8>.
 12. Зубков МА, Андрейченко АЕ, Кретов ЕИ и др. МР томография в сверхвысоком поле: новые задачи и новые возможности. Успехи физических наук. 2019; 189 (12): 1293-314.
Zubkov MA, Andrejchenko AE, Kretov EI i dr. MR tomografiya v sverhvysokom pole: novye zadachi i novye vozmozhnosti. Uspekhi fizicheskikh nauk. 2019; 189 (12): 1293-314 (In Russ.) <https://doi.org/10.3367/UFNr.2018.12.038505>.
 13. Schoenberg SO, Dietrich O, Reiser MF. Parallel Imaging in Clinical MR Applications Heidelberg: Springer Verlag; 2007: 564 P. eBook ISBN9: 78-3-540-68879-2. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-68879-2>.
 14. Chizhik VI, Chernyshev YS, Donets AV. Magnetic Resonance and Its Applications: Springer; 2014: 782 P. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-05299-1>.
 15. Hornak JP. The basics of MRI. Rochester: Rochester Institute of Technology; 1996-2017. <https://www.cis.rit.edu/htbooks/mri/>. Accessed January 17, 2025.
 16. Руммени ЭД, Раймер П, Хайндель В. Магнитно-резонансная томография тела. Пер. с англ. под ред. Кармазановского ГГ. МЕДпресс-информ. 2014; 848 с. https://static-eu.insales.ru/files/1/2147/1493091/original/Магнитно-резонансная_томография_тела.pdf. Accessed January 12, 2025.
 17. Albert MS, Hane FT, editors. Hyperpolarized and Inert Gas MRI: From Technology to Application in Research and Medicine Amsterdam: Elsevier; 2016: 332 P. eBook ISBN: 9780128037041.
 18. Pirogov YA, Anisimov NV, Pavlova OS, et al. Chapter 4 - Advances in magnetic resonance tomography. In Tishin AM, editor. Magnetic Materials and Technologies for Medical Applications.: Woodhead Publishing; 2022. p. 107-152. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822532-5.00005-4>. Accessed November 17, 2024.

19. Синицын ВЕ, Терновой СК. Магнитно-резонансная томография в новом столетии. Радиология – практика. 2005; (4): 23-9. Sinicyn VE, Ternovoj SK. Magnitno-rezonansnaya tomografiya v novom stoletii. Radiologiya – praktika. 2005; (4): 23-9 (In Russ.) <https://rosoncweb.ru/library/radiodiagnostics/001.php>. Accessed November 19, 2024.
20. Григорьев ГЮ, Завалева ЕВ, Лагутин АС. Клинические применения ксенона-129 в магнитно-резонансной томографии: краткий обзор. Медицинская физика. 2024; (2): 91-109. Grigor'ev GYu, Zavaleva EV, Lagutin AS. Klinicheskie primeneniya ksenona-129 v magnitno-rezonansnoj tomografii: kratkij obzor. Medicinskaya fizika. 2024; (2): 91-109 (In Russ.) <https://doi.org/10.52775/1810-200X-2024-102-2-91-109>.
21. Lohrke J, Frenzel T, Endrikat J, et al. 25 Years of Contrast-Enhanced MRI: Developments, Current Challenges and Future Perspectives. Adv Ther. 2016; 33: 1-28. <https://doi.org/10.1007/s12325-015-0275-4>.
22. Ублинский МВ, Манжурцев АВ, Меньшиков ПЕ, Ахадов ТА, Семенова НА. Мульти-модальные исследования головного мозга человека с использованием функциональной магнитно-резонансной томографии и магнитно-резонансной спектроскопии. Анналы клинической и экспериментальной неврологии. 2018; 12 (1): 54-60. Ublinskij MV, Manzhurcev AV, Men'shchikov PE, Ahadov TA, Semenova NA. Mul'timodal'nye issledovaniya golovnogogo mozga cheloveka s ispol'zovaniem funkcional'noj magnitno-rezonansnoj tomografii i magnitno-rezonansnoj spektroskopii. Annaly klinicheskoy i eksperimental'noj nevrologii. 2018; 12 (1): 54-60 (In Russ.) <https://doi.org/10.25692/ACEN.2018.1.8>.
23. Sexton JA, Gopikrishna Deshpande, Zhihao Li et al. Functional Magnetic Resonance Imaging. In: He B (eds). Neural Engineering.; 2013. p. 473-497. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-5227-0_11.
24. Fisher JT, Weber R. Innovative health interventions at the intersection of neuroimaging and multimedia design. In: Jihyun Kim, Hayeon Song (eds). Technology and Health. The University of California Santa Barbara, Santa Barbara, CA, United States: Elsevier; 2020. p. 333-351. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816958-2.00015-0>.
25. Poldrack RA, Mumford JA, Nichols TE. Handbook of Functional MRI Data Analysis New York, USA: Cambridge University Press; 2011: 228 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511895029>.
26. Hua J, Qin Q, Zijl P. Whole-Brain Three-Dimensional T2-Weighted BOLD Functional Magnetic Resonance Imaging at 7 Tesla. Magnetic Resonance in Medicine. 2014; 72 (6): 1530-40. <https://doi.org/10.1002/mrm.25055>.
27. Левашкина ИМ, Серебрякова СВ, Ефимцев АЮ. Диффузионно-тензорная МРТ – современный метод оценки микроструктурных изменений вещества головного мозга (обзор литературы). Вестник Санкт-Петербургского университета. 2016; 11 (4): 39-54. Levashkina IM, Serebryakova SV, Efimcev AYU. Diffuzionno-tenzornaya MRT - sovremennyy metod ocenki mikrostrukturnyh izmenenij veshchestva golovnogogo mozga (obzor literatury). Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. 2016; 11 (4): 39-54 (In Russ.) <https://doi.org/10.21638/11701/spbu11.2016.404>.
28. Osama Raslan, Debnam JM, Ketonen L, et al. Stereoscopic Visualization of Diffusion Tensor Imaging Data: A Comparative Survey of Visualization Techniques. Radiology Research and Practice. 2013: Article ID 780916, 10 p. <https://doi.org/10.1155/2013/780916>.
29. Cenek M, Masa Hu, York G, Dahl S. Survey of Image Processing Techniques for Brain Pathology Diagnosis: Challenges and Opportunities. Frontiers in Robotics and AI. 2018; 5: Article 120. <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00120>.
30. Смирнов ВВ, Саввова МВ, Смирнов ВВ. Магнитно-резонансная томография в диагностике заболеваний суставов. Обнинск: Артифекс; 2022. 169 с. Smirnov VV, Savvova MV, Smirnov VV. Magnitno-rezonansnaya tomografiya v diagnostike zabolevanij sustavov. Obninsk: Artifeks; 2022; 169 p. (In Russ.) <https://clinic.ru/upload/medialibrary/7d2/7d242e282333111866c15d66e0aaf338.pdf>. Accessed November 25, 2024.

31. Koeun Lee, Ho Young Park, Kyung Won Kim, et al. Advances in whole body MRI for musculoskeletal imaging: Diffusion-weighted imaging. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*. 2019; 10: 680-6. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2019.05.018>.
32. Koh DM, Thoeny HC, editors. *Diffusion-Weighted MR Imaging Heidelberg*: Springer Berlin, Heidelberg; 2010. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-78576-7>.
33. Vargas MI, Delattre BMA, Boto J, Gariani J, Dhoub A, Fitsiori A, et al. Advanced magnetic resonance imaging (MRI) techniques of the spine and spinal cord in children and adults. *Insights into Imaging*. 2018; 9: 549-57. <https://doi.org/10.1007/s13244-018-0626-1>.
34. Vivek Kalia, Leung DG, Sneag DD, Filippo Del Grande, Carrino JA. Advanced MRI Techniques for Muscle Imaging. *Seminars in Musculoskeletal Radiology*. 2017; 21 (4): 459-69. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1604007>.
35. Шериев СР, Сидорина АС, Баев МС, и др. Современные методики магнитно-резонансной томографии в кардиологии. *Российский журнал персонализированной медицины*. 2023; 3 (6): 61-6. Sheriev SR, Sidorina AS, Baev MS, i dr. Sovremennyye metodiki magnitno-rezonansnoy tomografii v kardiologii. *Rossiyskiy zhurnal personalizirovannoy mediciny*. 2023; 3 (6): 61-6 (In Russ.) <https://doi.org/10.18705/2782-3806-2023-3-6-61-66>. Accessed January 9, 2025.
36. von Knobelsdorf-Brenkenhof F, Schulz-Menger J. Cardiovascular magnetic resonance Cardiovascular magnetic resonance of Cardiology: a comprehensive summary and update. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2023; 25 (42): 28 p. <https://doi.org/10.1186/s12968-023-00950-z>.
37. Силин АЮ, Лесняк ВН. Магнитно-резонансная томография сердца в клинической практике. *Клиническая практика*. 2013; (1): 67-76. Silin AYU, Lesnyak VN. Magnitno-rezonansnaya tomografiya serdca v klinicheskoy praktike. *Klinicheskaya praktika*. 2013; (1): 67-76 (In Russ.) <https://clinpractice.ru/upload/iblock/50c/50c25b11ac0a26bd3ef77afa1712483a.pdf>. Accessed January 10, 2025.
38. Hartung MP, Grist TM, Francois CJ. Magnetic resonance angiography: current status and future directions. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2011; 13: Article ID 192011, 11 p. <https://doi.org/10.1186/1532-429X-13-19>.
39. Шайдаков ЕВ, Санников А.Б. АБ, Емельяненко ВМ, и др.. Возможности МРТ-исследований в визуализации сосудистого русла нижних конечностей. *Русский медицинский журнал*. 2020; 13: 33-44. Shajdakov EV, Sannikov A.B. AB, Emel'yanenko VM, i dr.. Vozmozhnosti MRT-issledovaniy v vizualizacii sosudistogo rusla nizhnih konechnostej. *Russkiy medicinskiy zhurnal*. 2020; 13: 33-44 (In Russ.) https://www.rmj.ru/articles/khirurgiya/Vozmoghnosti_MRT-issledovaniy_v_vizualizacii_sosudistogo_rusla_nighnih_konechnostey/. Accessed January 9, 2025.
40. Бузина АМ, Фатеев ИН. Исследование анатомического строения печени и внепеченочных желчных путей с использованием метода магнитно-резонансной томографии. *Фундаментальные исследования № 4, 2014*. 2014; (4): 419-23. Buzina AM, Fateev IN. Issledovanie anatomicheeskogo stroeniya pecheni i vnepechenochnykh zhelchnykh putej s ispol'zovaniem metoda magnitno-rezonansnoy tomografii. *Fundamental'nye issledovaniya № 4, 2014*. 2014; (4): 419-23 (In Russ.). <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=33858>. Accessed January 12, 2025.
41. Фишбах Ф, Фишбах К. МРТ печени. Диагностика, дифференциальная диагностика, принципы лечения. Иванишкин ВТ, (eds). Москва: "МЕДпресс-информ"; 2018: 256 с. Fishbah F, Fishbah K. MRT pecheni. Diagnostika, differencial'naya diagnostika, principy lecheniya. Ivanishkin VT, (eds). Moskva: "MEDpress-inform"; 2018: 256 p. (In Russ.). ISBN: 978-5-0003-0549-2. https://static-eu.insales.ru/files/1/7046/12401542/original/mrt_pecheni.pdf. Accessed January 16, 2025.
42. Chilla GS, Cher Heng Tan, Chenjie Xu, Chueh Loo Poh. Diffusion weighted magnetic resonance imaging and its recent trend - a survey. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*. 2015; 5 (3): 407-22. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2223-4292.2015.03.01>.

43. Israel GM. MRI of the Kidney and Urinary Tract. *Journal of magnetic resonance imaging*. 2006; 24: 725-34. <https://doi.org/10.1002/jmri.20700>.
44. Chung AD, Schieda N, Shanbhogue AK, Di-lauro M, Rosenkrantz AB, Siegelman ES. MRI Evaluation of the Urothelial Tract: Pitfalls and Solutions. *American Journal of Roentgenology*. 2016; 207 (6). <https://doi.org/10.2214/AJR.16.16348>.
45. Nascimento D, Suchard G, Hatem M, de Abreu A. The role of magnetic resonance imaging in the evaluation of bone tumours and tumour-like lesions. *Insights Imaging*. 2014; (5): 419-40. <https://doi.org/10.1007/s13244-014-0339-z>.
46. Flores AP, Sanchez CV, Roda JM, et al. Assessment of Pre-operative Measurements of Tumor Size by MRI Methods as Survival Predictors in Wild Type IDH Glioblastoma. *Frontiers in Oncology*. 2020; 10: Article 1662, 12 p. <https://doi.org/10.3389/fonc.2020.01662>.
47. Federico Bruno, Vincenza Granata , Flavia Cobianchi Bellisari , et al. Advanced Magnetic Resonance Imaging (MRI) Techniques: Technical Principles and Applications in Nanomedicine. *Cancers* 2022; 14: Article ID 1626. 17 p. <https://doi.org/10.3390/cancers14071626>.
48. Бывальцев ВА, Дергилев АП, Кичигин АИ, Каныгин ВВ. Диффузионно-взвешенная магнитно-резонансная томография в дифференциальной диагностике доброкачественных и злокачественных опухолей головного мозга. *Современные проблемы науки и образования*. 2020; 3: 8 с. Byval'cev VA, Dergilev AP, Kichigin AI, Kanygin VV. Diffuzionno-vzveshennaya magnitno-rezonansnaya tomografiya v differencial'noj diagnostike dobrokachestvennyh i zlokachestvennyh opuholej golovnogogo mozga. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2020; 3: 8 p. (In Russ.) <https://science-education.ru/article/view?id=29867>. Accessed January 10, 2025.
49. Nitesh Yadav , Prashant Kumar Jain. A Review Article on Brain Tumor Detection and Optimization using Hybrid Classification Algorithm. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*. 2021; 9 (XI): 763-7. <https://www.ijraset.com/best-journal/brain-tumor-detection-and-optimization-using-hybrid-classification-algorithm>. Accessed January 15, 2025.
50. Silva MA, See AP, Essayed WI, et al. Challenges and techniques for presurgical brain mapping with functional MRI. *NeuroImage: Clinical*. 2018; 17: 794-803. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2017.12.008>.
51. Щербань АЕ, Иванов ПИ, Черкашин МА, Желбунова ЕА. Стереотаксическая биопсия опухолей головного мозга с планированием в условиях магнитно-резонансной томографии. *Русский медицинский журнал*. 2017; 16: 1194-9. Shcherban' AE, Ivanov PI, Cherkashin MA, Zhelbunova EA. Stereotaksicheskaya biopsiya opuholej golovnogogo mozga s planirovaniem v usloviyah magnitno-rezonansnoj tomografii. *Russkij medicinskij zhurnal*. 2017; 16: 1194-9. (In Russ.) https://www.rusmedreview.com/upload/iblock/6c4/RMJ_16_2017_1194-1199.pdf. Accessed January 17, 2025.
52. Bates S, Dumoulin SO, Folkers RJM, et al. A vision of 14 T MR for fundamental and clinical science. *Magnetic Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine*. 2023; 36: 211-25. <https://doi.org/10.1007/s10334-023-01081-3>.
53. Platt T, Ladd ME, Paech D. 7 Tesla and Beyond. *Advanced Methods and Clinical Applications in Magnetic Resonance Imaging. Investigative Radiology*. 2021; 56: 705-25. <https://doi.org/10.1097/RLI.0000000000000820>.
54. Физические принципы устройств. Fizicheskie principy ustroystv. [Online]. (In Russ.) <https://shtampik.com/photo/fizicheskieprintsipiy-ustroystv/>. Accessed January 14, 2025.
55. Марусина МЯ, Казначеева АО. Современные виды томографии Санкт Петербург: СПбГУ ИТМО; 2006. 151 с. Marusina MYa, Kaznacheeva AO. *Sovremennye vidy tomografii Sankt Peterburg: SPbGU ITMO*; 2006. 151 p (In Russ.) ISBN 5-7577-0283-4. <https://books.ifmo.ru/file/pdf/118.pdf>. Accessed December 21, 2024.
56. Rinck PA. *Magnetic resonance in medicine*, 14th edition; 2024. ISBN: 978-628-01-2260-1. <https://www.magnetic-resonance.org/>. Accessed January 17, 2025.
57. Reiser MF, Semmler W, Hricak H, editors. *Magnetic Resonance Tomography Berlin Heidelberg: Springer-Verlag*; 2008: 1510 p.

- <https://doi.org/10.1007/978-3-540-29355-2>.
58. United States Food and Drug Administration. [Online].; 2017 [cited 2024 10 11. Available from: <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-clears-first-7t-magnetic-resonance-imaging-device>. Accessed January 14, 2025.
 59. Прогноз рынка сканеров магнитно-резонансной томографии на 2030 год. Prognoz rynka skanerov magnitno-rezonansnoj tomografii na 2030 god (In Russ.). Available from: <https://exactitudeconsultancy.com/ru/отчеты/38400/Рынок-сканеров-магнитно-резонансной-томографии/#description>. Accessed January 10, 2025.
 60. Moser E, Laistler E, Schmitt F, Kontaxis G. Ultra-High Field NMR and MRI—The Role of Magnet Technology to Increase Sensitivity and Specificity. *Frontiers in Physics*. 2017; Volume 5: Article 33, 15 p. <https://doi.org/10.3389/fphy.2017.00033>.
 61. Chang KJ, Kamel IR, Macura KJ, Bluemke DA. 3.0-T MR imaging of the abdomen: comparison with 1.5 T. *Radiographics* 28 (7), 2008; 28 (7): 1983-98. <https://doi.org/10.1148/rg.287075154>.
 62. Carr JC, Simonetti O, Bundy J, Li D, Pereles S, Finn JP. Cine MR angiography of the heart with segmented true fast imaging with steady-state precession. *Radiology*. 2001; 219 (3): 828-34. <https://doi.org/10.1148/radiology.219.3.r01jn44828>.
 63. Rajiah P, Bolen MA. Cardiovascular MR imaging at 3 T: opportunities, challenges, and solutions. *Radiographics*. 2014; 34 (6): 1612-35. <https://doi.org/10.1148/rg.346140048>.
 64. Пирадов МА, Танащян ММ, Кротенкова МВ, и др. Передовые технологии нейровизуализации. Клиническая неврология. 2015; 9 (4): 11-7.
Piradov MA, Tanashyan MM, Krotchenkova MV, i dr. Peredovye tekhnologii nejrovizualizacii. *Klinicheskaya nevrologiya*. 2015; 9 (4): 11-7. (In Russ.). <https://cyberleninka.ru/article/n/peredovye-tehnologii-nejrovizualizatsii/viewer>. Accessed January 17, 2025.
 65. Cosottini M, Roccatagliata L. Neuroimaging at 7 T: are we ready for clinical transition? *European Radiology Experimental*. 2021; 5 (37): 5 p. <https://doi.org/10.1186/s41747-021-00234-0>.
 66. Robitaille PML, Warner R, Jagadeesh J, et al. Design and Assembly of an 8 Tesla Whole-Body MR Scanner. *Journal of Computer Assisted Tomography*. 1999; 23 (6): 808-20. <https://doi.org/10.1097/00004728-199911000-00002>.
 67. Yacoub E, Shmuel A, Pfeuffer J, et al. Imaging Brain Function in Humans at 7 Tesla. *Magnetic Resonance in Medicine*. 2001; 45: 588-94. <https://doi.org/10.1002/mrm.1080>.
 68. Dimo Ivanov, Federico De Martino, Elia Formisa, et al. Magnetic resonance imaging at 9.4 T: the Maastricht journey. *Magnetic Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine*. 2023; 36: 159-73. <https://doi.org/10.1007/s10334-023-01080-4>.
 69. Helthuis JHG, van der Zwan A, van Doormaal TPC, et al. High resolution 7T and 9.4T-MRI of human cerebral arterial casts enables accurate estimations of the cerebrovascular morphometry. *Scientific Reports*. 2018; 8: Article ID 14235. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32427-w>.
 70. Hoff MN, McKinney IV A, Shellock FG, et al. Safety Considerations of 7-T MRI in Clinical Practice. *Radiology*. 2019; 292 (3): 509-18. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019182742>.
 71. Tomohisa Okada, Thai Akasaka, Dinh HD Thuy, Tadashi Isa. Safety for Human MR Scanners at 7T. *Magn Reson Med Sci*. 2022; 21: 531-7. <https://doi.org/10.2463/mrms.rev.2021-0063>.
 72. Сергунова КА, Ахмад ЕС, Петрякин АВ и др. Основы безопасности при проведении магнитно-резонансной томографии. Методические рекомендации №63. 2019. Департамент здравоохранения г. Москвы. ГБУЗ “НПКЦ ДиТ ДЗМ”. 67 с.
Sergunova KA, Ahmad ES, Petryakin AV i dr. Osnovy bezopasnosti pri provedenii magnitno-rezonansnoj tomografii. *Metodicheskie rekomendacii №63*. 2019. Departament zdavoohraneniya g. Moskvyy. GBUZ “NPKC DiT DZM”. 67 p. (In Russ.). https://telemedai.ru/biblioteka-dokumentov/osnovi_bezopasnosti_mrt. Accessed January 27, 2025.
 73. Pazahr S, Nanz D, Sutter R. 7 T Musculoskeletal MRI Fundamentals and Clinical Implementation. *Investigative Radiology*. 2023; 58 (1): 88-98. <https://doi.org/10.1097/RLI.0000000000000896>.

74. Stockmann JP, Arango NS, Witzel T, et al.. A 31-channel integrated "AC/DC" B0 shim and radiofrequency receive array coil for improved 7T MRI. *Magn Reson Med*. 2022; 87: 1074–92. <https://doi.org/10.1002/mrm.29022>.
75. Kraff O, Bitz AK, Dammann P, et al. An eight-channel transmit/receive multipurpose multipurpose coil for musculoskeletal MR imaging at 7 T. *Med Phys*. 2010; 37: 6368–76. <https://doi.org/10.1118/1.3517176>.
76. Wei Zhao , Julien Cohen-Adad , Polim JR, et al. Nineteen-Channel Receive Array and Four-Channel Transmit Array Coil for Cervical Spinal Cord Imaging at 7T. *Magnetic Resonance in Medicine*. 2014; 72: 291–300. <https://doi.org/10.1002/mrm.24911>.
77. Bruschi N, Boffa G, Inglese M. Ultra-high-field 7-T MRI in multiple sclerosis and other demyelinating diseases: from pathology to clinical practice. *European Radiology Experimental*. 2020; 4(59): 13 p. <https://doi.org/10.1186/s41747-020-00186-x>.
78. Oezetemiz C, White M, Elvendahl W, et al. Use of a Commercial 7-T MRI Scanner for Clinical Brain Imaging: Indications, Protocols, Challenges, and Solutions - A Single-Center Experience. *American Journal of Roentgenology*. 2023; 221: 788–805. <https://doi.org/10.2214/AJR.23.29342>.
79. Behroze Vachha , Susie Huang Y. MRI with ultrahigh field strength and high-performance gradients: challenges and opportunities for clinical neuroimaging at 7 T and beyond. *European Radiology Experimental*. 2021; 5: Article ID 35. <https://doi.org/10.1186/s41747-021-00216-2>.
80. Rutland JW, Delman BN, Gill CM, et al. Emerging use of ultra-high-field 7T MRI in the study of intracranial vascularity: state of the field and future directions. *Am J Neuroradiol*. 2020; 41: 2–9. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A6344>.
81. Mohamed L. Seghier. 7 T and beyond: toward a synergy between fMRI based presurgical mapping at ultrahigh magnetic fields, AI, and robotic neurosurgery. *European Radiology Experimental* (2024) 8:73. 2024; 8 (1): 73. <https://doi.org/10.1186/s41747-024-00472-y>.
82. Lakhani DA, Sabsevitz DS, Chaichana KL, et al. Current state of functional MRI in the presurgical planning of brain tumors. *Radiol Imaging Cancer*. 2023; 5: Article ID e230078. <https://doi.org/10.1148/rycan.230078>.
83. Ekert JO, Kirkman MA, Seghier ML, et al. A data-based approach for selecting pre- and intra-operative language mapping tasks. *Front Neurosci*. 2021; 15: Article ID 743402. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.743402>.
84. Elin K, Malyutina S, Bronov O, et al. A new functional magnetic resonance imaging localizer for preoperative language mapping using a sentence completion task: validity, choice of baseline condition, and test-retest reliability. *Front Hum Neurosci*. 2022; 16: Article ID 791577. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.791577>.
85. Su H, Kwok KW, Cleary K, et al. State of the art and future opportunities in MRI-guided robot-assisted surgery and interventions. *Proc IEEE Inst Electr Electron Eng*. 2022; 110: 968–92. <https://doi.org/10.1109/jproc.2022.3169146>.
86. Soloukey S, Collee E, Verhoef L, et al. Human brain mapping using co-registered fUS, fMRI and ESM during awake brain surgeries: a proof-of-concept study. *Neuroimage*. 2023; 283: Article ID 120435. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2023.120435>.
87. Laader A, Beiderwellen K, Kraff O, et al. 1.5 versus 3 versus 7 Tesla in abdominal MRI: A comparative study. *PLoS ONE*. 2017; 12 (11): Article ID e0187528. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187528>.
88. Remi Patriat, Tara Palnitkar, Jayashree Chandrasekaran, et al. DiMANI: diffusion MRI for anatomical nuclei imaging - Application for the direct visualization of thalamic subnuclei. *Front. Hum. Neurosci*. 2024; 18: Article ID 1324710. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2024.1324710>.
89. Morel A, Magnin M, Jeanmonod D. (1997). Multiarchitectonic and stereotactic atlas of the human thalamus. *J. Comp. Neurol*. 1997; 387: 588–630. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1096-9861\(19971103\)387:4<588::aid-cne8>3.0.co;2-z](https://doi.org/10.1002/(sici)1096-9861(19971103)387:4<588::aid-cne8>3.0.co;2-z).
90. Pohmann R, Speck O, Scheffler. Signal-to-noise ratio and MR tissue parameters in human brain imaging at 3, 7, and 9.4 tesla using current receive coil arrays. *Magn Reson Med*. 2016; 75: 801–9. <https://doi.org/10.1002/mrm.25677>.
91. Urbil K, Auerbach E, Moeller S, et al. Brain imaging with improved acceleration and SNR

- at 7 Tesla obtained with 64 channel receive array. *Magn Reson Med.* 2019; 82: 495-509. <https://doi.org/10.1002/mrm.27695>.
92. Wiesinger F, Boesiger P, Pruessmann KP. Electrodynamics and ultimate SNR in parallel MR imaging. *Magn Reson Med.* 2004; 52: 376-90. <https://doi.org/10.1002/mrm.20183>.
 93. Ladd ME, Bachert P, Meyerspeer M, et al. Pros and cons of ultra-high-field MRI/MRS for human application. *Prog Nucl Magn Reson Spectrosc* 109. 2018; 109: 1-50. <https://doi.org/10.1016/j.pnmrs.2018.06.001>.
 94. Zaiss M, Jin T, Kim SG, Gochberg DF. Theory of chemical exchange saturation transfer MRI in the context of different magnetic fields. *NMR Biomed.* 2022; 35: Article ID e4789. <https://doi.org/10.1002/nbm.4961>.
 95. Ertuerk MA, Xiaoping Wu, Yitcan Eryaman, Van de Moortele PF, Auerbach EJ, Lagore RL, et al. Towards imaging the body at 10.5 tesla. *Magn Reson Med.* 2017; 77 (1): 434-43. <https://doi.org/10.1002/mrm.26487>.
 96. Boulant N, Quettier L. Commissioning of the Iseult CEA 11.7 T whole body MRI: current status, gradient-magnet interaction tests and first imaging experience. *Magnetic Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine.* 2023; 36: 175-89. <https://doi.org/10.1007/s10334-023-01063-5>.
 97. 10.5 Tesla/88 cm bore Passively Shielded. In: University of Minnesota, Center for Magnetic Resonance Research, Department of Radiology. Available from: <https://www.cmrr.umn.edu/magnets/105t88.shtml>. Accessed January 17, 2025.
 98. Yacoub E, Grier MD, Auerbach EJ, et al. Ultra-high field (10.5 T) resting state fMRI in the macaque. *Neuroimage* 223. 2020; 223: Article ID 117349. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117349>.
 99. Grier MD, Yacoub E, Adriany G, et al. Ultra-high field (10.5T) diffusion-weighted MRI of the macaque brain. *Neuroimage* 255. 2022; 255: Article ID 119200. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2022.119200>.
 100. Wu X, Grant A, Ma X, et al. Susceptibility-weighted imaging and quantitative susceptibility mapping of the human brain at 10.5 Tesla: an initial experience. In: *Proceedings of the Joint Annual Meeting ISMRM-ESMRMB.* London. 2022. <https://archive.ismrm.org/2022/0647.html>. Accessed January 11, 2025.
 101. He X, Ertuerk MA, Grant A, et al. First in-vivo human imaging at 10.5T: Imaging the body at 447 MHz. *Magn Reson Med.* 2020; 84: 289-303. <https://doi.org/10.1002/mrm.28131>.
 102. Boulant N, Mauconduit F, Gras V, et al. In vivo imaging of the human brain with the Iseult 11.7-T MRI scanner. *Nature Methods.* 2024; 21: 2013-6. <https://doi.org/10.1038/s41592-024-02472-7>.
 103. Ladd ME, Quick HH, Speck O, et al. Germany's journey toward 14 Tesla human magnetic resonance. *Magnetic Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine.* 2023; 36(2): 20 p. <https://doi.org/10.1007/s10334-023-01085-z>.
 104. Iseult: The World's Most Powerful MRI Reveals Its First Images of the Human Brain. [Online]. 2023. Available from: <https://emag.directindustry.com/2024/04/02/project-iseult-the-worlds-most-powerful-mri-reveals-its-first-images-of-the-human-brain/>. Accessed December 17, 2024.
 105. Medical and Life Science Studies (MRI, fMRI, MRS) Enabled by 20 Tesla. In *High Magnetic Field Science and Its Application in the United States: Current Status and Future Directions.*; 2013. p. 80-99. <https://web.archive.org/web/20150223114124/http://www.nap.edu/catalog/18355/high-magnetic-field-science-and-its-application-in-the-united-states>. Accessed December 15, 2024.
 106. Budinger TF, Bird MD. MRI and MRS of the human brain at magnetic fields to 20T: Technical feasibility, safety, and neuroscience horizons. *Neuroimage.* 2018; 168: 509-31. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.01.067>.
 107. Wang Y, Wang Q, Wang H, et al. Actively-shielded ultrahigh field mri/nmr superconducting magnet design. *Superconductor science and technology.* 2021; 35 (1): Article ID 014001. <https://doi.org/10.1088/1361-6668/ac370e>.
 108. Liu XG, Wu F, Wu K, et al. 27th International Conference on Magnet Technology. In *Mechanical Analysis of a 14 T Whole-Body MRI Magnet*; 2021. p. Contribution ID: 673 Contribution code: WED-OR2-703-07. <https://indico.cern.ch/event/975584/>

- contributions/4427139/contribution.pdf. Accessed December 18, 2024.
109. Barskiy DA, Coffey A, Nikolaou P, et al. NMR Hyperpolarization Techniques of Gases. *Chemistry*. 2017; 23: 725-51. <https://doi.org/10.1002/chem.201603884>.
 110. Eddy RL, Parraga G. Pulmonary xenon-129 MRI: new opportunities to unravel enigmas in respiratory medicine. *Eur Respir J*. 2020; 55(2): Article ID 1901987. <https://doi.org/10.1183/13993003.01987-2019>.
 111. Григорьев ГЮ, Лагутин АС. Методы получения поляризованного ксенона для магнитно-резонансной томографии (обзор). *Журнал технической физики*. 2022; 92 (9): 1277-99.
Grigoriev Gyu, Lagutin AS. Metody polucheniya polarizovannogo ksenona dlya magnitno-rezonansnoj tomografii (obzor). *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*. 2022; 92 (9): 1277-99.
 112. Khan AS, Harvey RL, Birchall JR, et al. Enabling Clinical Technologies for Hyperpolarized Xenon-129 MRI and Spectroscopy. *Angew Chem Int Ed Engl*. 2021; 609 (41): 22126-47. <https://doi.org/10.1002/anie.202015200>.
 113. Ya-Jun Ma, Saeed Jerban, Hyungseok Jang, et al. Quantitative Ultrashort Echo Time (UTE) Magnetic Resonance Imaging of Bone: An Update. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2020; 11: Article 567417. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.567417>.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена в рамках Программы деятельности федерального государственного бюджетного учреждения "Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт" на 2023–2027 годы по направлению 4 "Исследования и разработки по развитию применения ядерных технологий в медицине" – Прикладные исследования в области разработки новых технологий наработки перспективных радионуклидов и стабильных изотопов.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 17.02.2025. **Принята к публикации:** 10.06.2025.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The work was carried out within the framework of the Program of Activities of the Federal State Budgetary Institution "National Research Center "Kurchatov Institute" for 2023-2027 in the direction 4 "Research and development for the development of the application of nuclear technologies in medicine" – Applied research in the field of development of new technologies for the production of promising radionuclides and stable isotopes.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 17.02.2025. **Accepted for publication:** 10.06.2025.

КАЛЕНДАРЬ НАУЧНЫХ ФОРУМОВ

Июль

27–30 67 ежегодная встреча Американской ассоциации медицинских физиков
AAPM
Вашингтон, США

Сентябрь

29–4 Мировой конгресс по медицинской физике и биомедицинской инженерии
Аделаида, Австралия

Ноябрь

11–13 XXIX Российский онкологический конгресс 2025
Москва, Россия

30–4 Ежегодная встреча Североамериканского радиологического общества
RSNA
Чикаго, США