

**КРЕАТИВНАЯ
ХИРУРГИЯ *и*
ОНКОЛОГИЯ**

**CREATIVE
SURGERY *and*
ONCOLOGY**

ISSN 2076-3093 (Print)

ISSN 2307-0501 (Online)

Том 15, № 4, 2025
Vol. 15, No. 4, 2025

16+

[HTTP://SURGONCO.RU](http://SURGONCO.RU)

КРЕАТИВНАЯ ХИРУРГИЯ И ОНКОЛОГИЯ

Kreativnaâ hirurgiâ i onkologiâ

Том 15, № 4, 2025

ISSN 2076-3093 (Print)
ISSN 2307-0501 (Online)

Главный редактор

Павлов Валентин Николаевич,

академик РАН, д.м.н., профессор, ректор ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, директор Института урологии и клинической онкологии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, заведующий кафедрой урологии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, член президиума Российского общества урологов, председатель Башкортостанского отделения Российского общества урологов, член правления Общества онкологов Республики Башкортостан (Уфа, Россия)

Заместители главного редактора

Ганцев Шамиль Ханафиевич,

академик АН Республики Башкортостан, д.м.н., профессор, директор НИИ онкологии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, заведующий кафедрой онкологии и клинической морфологии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, президент Ассоциации онкологов Республики Башкортостан, член правления Общества онкологов Республики Башкортостан (Уфа, Россия)

Плечев Владимир Вячеславович,

академик АН Республики Башкортостан, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой госпитальной и сердечно-сосудистой хирургии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, член президиума Ассоциации хирургов Республики Башкортостан (Уфа, Россия)

Ответственный секретарь

Липатов Олег Николаевич,

д.м.н., профессор, заведующий курсами онкологии и патологической анатомии Института развития образования ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, председатель правления Общества онкологов Республики Башкортостан, член правления Ассоциации онкологов Республики Башкортостан (Уфа, Россия)

Состав редакционной коллегии:

А.А. Бакиров — д.м.н., профессор (Уфа, Россия)

В.А. Вишневецкий — д.м.н., профессор (Москва, Россия)

Вольф Ф. Виланд (Wolf F. Wieland) — Prof. Dr.
(Регенсбург, Германия)

Жан де ла Розетт (Jean de la Rosette) — Prof. Dr. (Стамбул, Турция)

Ю.Г. Кжышковска — д.б.н., профессор (Томск, Россия;
Гейдельберг, Германия)

М.И. Коган — д.м.н., профессор (Ростов-на-Дону, Россия)

В.А. Кубышкин — академик РАН, д.м.н., профессор
(Москва, Россия)

И.С. Липатов — д.м.н., профессор (Самара, Россия)

О.Б. Лоран — академик РАН, д.м.н., профессор (Москва, Россия)

Лукас М. Вессель (Lucas M. Wessel) — Prof. Dr. med.
(Мангейм, Германия)

Ф.В. Моисеенко — д.м.н. (Санкт-Петербург, Россия)

И.Р. Рахматуллина — д.м.н., профессор (Уфа, Россия)

А.В. Самородов — д.м.н. (Уфа, Россия)

В.Ф. Семиглазов — чл.-корр. РАН, д.м.н., профессор
(Санкт-Петербург, Россия)

Сергей А. Леонтьев (Sergey A. Leontyev) — Prof. Dr. med.
(Лейпциг, Германия)

Стефан Пост (Stefan Post) — Prof. Dr. med.
(Мангейм, Германия)

М.В. Тимербулатов — д.м.н., профессор (Уфа, Россия)

А.А. Фокин — д.м.н., профессор (Челябинск, Россия)

Ханс Ю. Шлитт (Hans J. Schlitt) — Prof., MD
(Регенсбург, Германия)

Е.Л. Чойнзонов — академик РАН, д.м.н., профессор
(Томск, Россия)

Шигуанг Джао (Shiguang Zhao) — Prof., MD-PhD (Харбин, Китай)

Яссер Фарахат (Yasser Farahat) — Prof. Dr. (Танта, Египет)

Редакция

Зав. редакцией Н.Р. Кобзева

Ответственный за выпуск К.А. Салимова

Перевод Ю.К. Ксенофонтова

Секретарь Н.В. Понкратова

Дизайн и верстка С.И. Чорненький

Учредитель:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Адрес редакции и издателя:

450008, Россия, Республика Башкортостан,

г. Уфа, ул. Пушкина, д. 96, корп. 98

тел./факс: +7 (347) 273-56-97

<http://surgonco.ru>

e-mail: csurgonco@bashgmu.ru

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-69907 от 29.05.2017
Периодичность: 4 выпуска в год

© ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России

г. Уфа, оформление макета, 2025

Контент доступен под лицензией Creative Commons
Attribution 4.0 License

CREATIVE SURGERY AND ONCOLOGY

Volume 15, No. 4, 2025

ISSN 2076-3093 (Print)
ISSN 2307-0501 (Online)

Editor in Chief

Valentin N. Pavlov,

Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Rector of Bashkir State Medical University, Head of the Department of Urology of Bashkir State Medical University, Director of the Institute of Urology and Clinical Oncology of Bashkir State Medical University, Member of the Board of the Russian Society of Urology, Chairman of the Society of Urology of the Republic of Bashkortostan, Member of the Board of the Society of Oncology of the Republic of Bashkortostan (Ufa, Russia)

Deputy Chief Editor

Shamil Kh. Gantsev,

Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, Director of the Scientific Research Institute of Oncology of Bashkir State Medical University, Head of the Department of Oncology and Clinical Morphology of Bashkir State Medical University, President of the Oncologists Association of the Republic of Bashkortostan, Member of the Board of the Society of Oncology of the Republic of Bashkortostan (Ufa, Russia)

Vladimir V. Plechev,

Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, Head of the Department of Hospital and Cardiovascular Surgery of Bashkir State Medical University, Member of the Presidium of the Association of Surgeons of the Republic of Bashkortostan (Ufa, Russia)

Executive Editor

Oleg N. Lipatov,

Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Courses of Oncology and Pathological Anatomy of the Institute for Educational Development of Bashkir State Medical University, Chairman of the Board of the Society

of Oncology of the Republic of Bashkortostan, Member of the Board of the Oncologists Association of the Republic of Bashkortostan (Ufa, Russia)

Editorial Board

Anvar A. Bakirov — Dr. Sci. (Med.), Professor (Ufa, Russia)

Vladimir A. Vishnevsky — Dr. Sci. (Med.), Professor (Moscow, Russia)

Wolf F. Wieland — Prof. Dr. (Regensburg, Germany)

Julia G. Kzhyshkowska — Dr. Sci. (Biol.), Professor (Tomsk, Russia; Heidelberg, Germany)

Jean de la Rosette — Prof. Dr. (Istanbul, Turkey)

Mikhail I. Kogan — Dr. Sci. (Med.), Professor (Rostov-on-Don, Russia)

Valery A. Kubyshkin — Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Med.), Professor (Moscow, Russia)

Igor S. Lipatov — Dr. Sci. (Med.), Professor (Samara, Russia)

Oleg B. Loran — Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Med.), Professor (Moscow, Russia)

Lucas M. Wessel — Prof. Dr. med. (Mannheim, Germany)

Fedor V. Moiseenko — Dr. Sci. (Med.) (Saint Petersburg, Russia)

Irina R. Rakhmatullina — Dr. Sci. (Med.), Professor (Ufa, Russia)

Aleksandr V. Samorodov — Dr. Sci. (Med.) (Ufa, Russia)

Vladimir F. Semiglasov — Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Med.), Professor (Saint Petersburg, Russia)

Sergey A. Leontyev — Prof. Dr. med. (Leipzig, Germany)

Stefan Post — Prof. Dr. med. (Mannheim, Germany)

Makhmud V. Timerbulatov — Dr. Sci. (Med.), Professor (Ufa, Russia)

Aleksey A. Fokin — Dr. Sci. (Med.), Professor (Chelyabinsk, Russia)

Hans J. Schlitt — Prof., MD (Regensburg, Germany)

Evgeny L. Choinzonov — Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Med.), Professor (Tomsk, Russia)

Shiguang Zhao — Prof., MD-PhD (Harbin, China)

Yasser Farahat — Prof. Dr. (Tanta, Egypt)

Editorial office

Managing editor Natalya R. Kobzeva

Issuing editor Ksenia A. Salimova

Translator Yuliana K. Ksenofontova

Secretary Natalya V. Ponkratova

Design and Artwork Sergey I. Chornenkiy

Founder of the journal

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bashkir State Medical University" of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation

Postal address of the editorial office

96/98 Pushkin St., Ufa, 450008, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

Tel./fax: +7 (347) 273-56-97

<http://surgonco.ru>

e-mail: csurgonco@bashgmu.ru

The journal is registered by the Federal service for supervision of communications, information technology and mass media on May 29, 2017 (Certificate of registration PI No. FS 77-69907 of 29.05.2017 — print edition)

Frequency: Quarterly

© Bashkir State Medical University,

Ufa, layout design, 2025

Content is distributed under Creative Commons Attribution 4.0 License

КРЕАТИВНАЯ ХИРУРГИЯ И ОНКОЛОГИЯ

Kreativnaâ hirurgiâ i onkologiâ

Том 15, № 4, 2025

Содержание

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

- Э.М. Букин, В.Н. Малашенко, В.В. Рыбачков, А.Б. Васин, Н.С. Голощапова, И.Д. Малов, А.Е. Акимова**
Особенности операций на лимфатическом аппарате у пациентов с меланомой кожи..... 313
- О.В. Галимов, Г.И. Вагизова, В.О. Ханов, Т.Р. Ибрагимов, А.Г. Сафаргалина**
Превентивное протезирование операционного доступа у пациентов с морбидным ожирением..... 321
- И.И. Солодов, Ю.С. Шатова, А.Ю. Максимов, Е.Н. Колесников, А.П. Меньшенина, Н.Д. Ушакова, Н.В. Солдаткина, А.В. Снежко, Г.Ю. Егоров, А.В. Галина, С.В. Гурова, Д.В. Ходакова**
Результаты трансартериальной химиоэмболизации при лечении первичного и метастатического рака печени: клиническая оценка 329
- А.М. Авзалетдинов, А.А. Бакиров, Т.Д. Вильданов, К.Р. Мусакаева, А.А. Нургудин, И.А. Гибадуллин, Е.А. Ерин, Г.Ю. Гололобов**
Опыт робот-ассистированных вмешательств при скользящих грыжах пищеводного отверстия диафрагмы II–III степени с применением новой методики..... 338
- Р.А. Сулиманов, А.С. Черных, Р.Р. Сулиманов, А.А. Акбарова, О.С. Черных, А.В. Ребинок, М.Д. Гатилова**
Способы интраоперационной проверки герметичности швов пищеводно-желудочного анастомоза и профилактики энцефалопатии при резекции пищевода по Льюису..... 345
- Р.А. Пахомова, Э.К. Сарибекян, Л.В. Кочетова, С.А. Абдугафоров, В.Я. Колесник, В.В. Воротников, И.В. Копытич**
Одномоментная реконструкция молочной железы с использованием гладких круглых имплантатов: отдаленные результаты..... 354
- А.Р. Билялов, С.Г. Карчевский, А.А. Тихонов, М.Ф. Галаутдинов, В.Н. Акбашев, К.В. Данилко, С.В. Пятницкая, И.Ш. Ахатов, Д.В. Джурицкий, Р.В. Абдрахимов, И.В. Буренина, Р.Р. Ишемгулов**
Разработка фотополлимерных суспензий на основе гидроксипатита для 3D-печати в медицине 364

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

- М.А. Нартайлаков, Ф.Р. Нагаев, М.Р. Бакеев, Д.М. Минигалин, А.Г. Сафаргалина**
Цифровая холангиоскопия при внутривнутрипеченочном холелитиазе после трансплантации печени: клинический случай 376
- М.В. Кобелев, Н.А. Машкина, И.Б. Попов, А.С. Кобелева, Д.В. Бурый, А.С. Абгарян**
Муцинозная аденокарцинома правого легкого у ребенка: клинический случай..... 384

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

- Ш.В. Тимербулатов, А.Р. Гафарова, В.В. Плечев, Р.Р. Гараев, В.М. Тимербулатов**
Острая неокклюзионная мезентериальная ишемия..... 390
- И.А. Рыжков, Л.А. Варнакова, П.А. Фонова**
Роль нарушений микроциркуляции в развитии послеоперационных осложнений в абдоминальной хирургии..... 402
- А.Р. Билялов, А.Т. Бикмеев, И.Ш. Ахатов, Д.В. Джурицкий, Р.С. Юровских, Б.Ш. Минасов, В.Н. Акбашев, М.Ф. Галаутдинов**
Получение функциональных гидроксипатитных покрытий на имплантах с использованием холодного газодинамического напыления..... 415

CREATIVE SURGERY AND ONCOLOGY

Contents

Volume 15, No. 4, 2025

ORIGINAL ARTICLES

- Eduard M. Bukin, Viktor N. Malashenko, Vladimir V. Rybachkov, Alexander B. Vasin,
Natalya S. Goloshchapova, Ivan D. Malov, Anastasia E. Akimova
313..... Features of Lymphatic Surgery in Patients with Cutaneous Melanoma
- Oleg V. Galimov, Gulnaz I. Vagizova, Vladislav O. Khanov, Telman R. Ibragimov, Aygul G. Safargalina
321..... Preventive Endoprosthetics in Patients with Morbid Obesity
- Ivan I. Solodov, Iuliana S. Shatova, Alexey Yu. Maksimov, Evgeniy N. Kolesnikov, Anna P. Menshenina,
Nataliya D. Ushakova, Natalia V. Soldatkina, Aleksandr V. Snezhko, Georgii Yu. Egorov,
Anastasiya V. Galina, Sophia V. Gurova, Darya V. Khodakova
329..... Results of Transarterial Chemoembolization in Treatment of Primary and Metastatic Liver Cancer:
Clinical Assessment
- Artur M. Avzaletdinov, Anvar A. Bakirov, Tayar D. Vildanov, Kamila R. Musakaeva,
Artur A. Nurgudin, Irshat A. Gibadullin, Sergey A. Erin, Grigorii Yu. Gololobov
338..... Robot-Assisted Interventions for Type II and III Sliding Hiatal Hernias Using an Advanced Method
- Rushan A. Sulimanov, Anton S. Chernykh, Ramil R. Sulimanov, Aziza A. Akbarova,
Olga S. Chernykh, Anatolii V. Rebinok, Maria D. Gatilova
345..... Intraoperative Methods of Verifying the Integrity of Esophagogastric Anastomosis and Preventing
Encephalopathy after Lewis Esophagectomy
- Regina A. Pakhomova, Erik K. Saribekyan, Lyudmila V. Kochetova, Sardor A. Abdugafforov,
Vasilii Ya. Kolesnik, Vladimir V. Vorotnikov, Igor V. Kopytich
354..... Immediate Breast Reconstruction Using Smooth Round Implants: Long-Term Results
- Azat R. Bilyalov, Stanislav G. Karchevsky, Andrey A. Tikhonov, Mars F. Galautdinov,
Vladislav N. Akbashev, Ksenia V. Danilko, Svetlana V. Piatnitskaia, Iskander Sh. Akhatov,
Dmitry V. Dzhurinskiy, Ruslan V. Abdrakhimov, Irina V. Burenina, Ruslan R. Ishemgulov
364..... Development of Photopolymer Hydroxyapatite Suspensions for 3D Printing in Medicine

CLINICAL CASES

- Mazhit A. Nartailakov, Farit R. Nagaev, Marat R. Bakeev, Daniil M. Minigalin, Aygul G. Safargalina
376..... Digital Cholangioscopy in Intrahepatic Cholelithiasis after Liver Transplantation: Clinical case
- Maksim V. Kobelev, Natalia A. Mashkina, Ivan B. Popov, Anna S. Kobeleva, Denis V. Buryi,
Artem S. Abgaryan
384..... Mucinous Adenocarcinoma of the Right Lung in a Child: Clinical case

REVIEWS

- Shamil V. Timerbulatov, Aigul R. Gafarova, Vyacheslav V. Plechev, Ruslan R. Garaev,
Vil M. Timerbulatov
390..... Acute Non-Occlusive Mesenteric Ischemia
- Ivan A. Ryzhkov, Lidia A. Varnakova, Polina A. Fonova
402..... Effects of Microcirculation Disorders on the Development of Postoperative Complications in Abdominal
Surgery
- Azat R. Bilyalov, Alexandr T. Bikmeev, Iskander Sh. Akhatov, Dmitry V. Dzhurinskiy,
Roman S. Yurovskikh, Bulat Sh. Minasov, Vladislav N. Akbashev, Mars F. Galautdinov
415..... Functional Hydroxyapatite Coating of Implants Using Cold Spraying

<https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-313-320>



Особенности операций на лимфатическом аппарате у пациентов с меланомой кожи

Э.М. Букин^{1*}, В.Н. Малашенко¹, В.В. Рыбачков¹, А.Б. Васин², Н.С. Голощапова², И.Д. Малов¹, А.Е. Акимова²

¹Ярославский государственный медицинский университет, Россия, Ярославль

²Областная клиническая онкологическая больница, Россия, Ярославль

* **Контакты:** Букин Эдуард Максимович, e-mail: eduardbukin1991@gmail.com

Букин Эдуард Максимович — кафедра онкологии с гематологией, orcid.org/0000-0003-1971-5092

Малашенко Виктор Николаевич — д.м.н., профессор, кафедра онкологии с гематологией, orcid.org/0000-0002-2440-3395

Рыбачков Владимир Викторович — д.м.н., профессор, кафедра госпитальной хирургии, orcid.org/0000-0002-2477-1753

Васин Александр Борисович — orcid.org/0000-0003-0066-4969

Голощапова Наталья Сергеевна — поликлиническое отделение, orcid.org/0000-0002-8467-0591

Малов Иван Дмитриевич — ординатор, кафедра онкологии с гематологией, orcid.org/0009-0006-8899-0740

Акимова Анастасия Евгеньевна — отделение опухолей молочной железы и кожи, orcid.org/0000-0003-3861-0819

Аннотация

Введение. Меланома кожи — агрессивная злокачественная опухоль нейроэктодермального происхождения. Согласно статистике большинство пациентов начинают лечение на 2-й и 3-й стадиях заболевания. Это усугубляет прогноз и определяет необходимость расширения объема хирургического лечения. Цель исследования: улучшить исходы операций на лимфатическом аппарате у пациентов с меланомой кожи. **Материалы и методы.** Проведен анализ 190 историй болезней пациентов с меланомой кожи. Путем статистического анализа оценена целесообразность эскалации и деэскалации вмешательств. В группе пациентов с 3-й стадией сформирована проспективная выборка из 43 человек, у которых операции проводились с использованием интраоперационных методик профилактики лимфореи. **Результаты и обсуждение.** Лимфаденэктомия с профилактической целью не оптимальна в связи с тем, что большая часть пациентов не имеет признаков поражения лимфатических узлов на момент операции. Отказ от проведения расширенного вмешательства не всегда отвечает требованиям онкологической безопасности. Из 43 пациентов с метастатическим поражением лимфатических узлов имели поражение только 1 лимфатического узла 25 человек, 2 и более лимфатических узлов — 18 человек. При отказе от лимфаденэктомии высокий риск рецидива возможен у 41 % пациентов. У пациентов с 1-й стадией меланомы кожи отмечен низкий процент поражения лимфоколлекторов, как и регионарного метастазирования в отдаленном периоде. У пациентов с 3-й стадией заболевания возрастает вероятность послеоперационных нежелательных явлений. Пломбировка лимфатических сосудов, бережное отношение к окружающим структурам и использование оптического увеличения показывают хорошие результаты в профилактике послеоперационной лимфореи, что влечет снижение риска других осложнений. **Заключение.** Выбор типа оперативного вмешательства у пациентов с меланомой кожи должен быть обусловлен анализом прогнозов, взвешен в соответствии с возможными рисками и, при необходимости, дополнен применением средств профилактики осложнений.

Ключевые слова: меланома, сигнальный лимфатический узел, биопсия сигнального лимфатического узла, метастазы лимфатической системы, лимфорея, послеоперационные осложнения, лимфаденэктомия

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Данная работа не финансировалась.

Вклад авторов. Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Для цитирования: Букин Э.М., Малашенко В.Н., Рыбачков В.В., Васин А.Б., Голощапова Н.С., Малов И.Д., Акимова А.Е. Особенности операций на лимфатическом аппарате у пациентов с меланомой кожи. Креативная хирургия и онкология. 2025;15(4):313–320. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-313-320>

Поступила в редакцию: 19.06.2025

Поступила после рецензирования и доработки: 01.09.2025

Принята к публикации: 17.09.2025

Features of Lymphatic Surgery in Patients with Cutaneous Melanoma

Eduard M. Bukin — Department of Oncology and Haematology, orcid.org/0000-0003-1971-5092

Viktor N. Malashenko — Dr. Sci. (Med.), Prof., Department of Oncology and Haematology, orcid.org/0000-0002-2440-3395

Vladimir V. Rybachkov — Dr. Sci. (Med.), Prof., Department of Hospital Surgery, orcid.org/0000-0002-2477-1753

Alexander B. Vasin — orcid.org/0000-0003-0066-4969

Natalya S. Goloshchapova — Outpatient Department, orcid.org/0000-0002-8467-0591

Ivan D. Malov — Resident, Department of Oncology and Haematology, orcid.org/0009-0006-8899-0740

Anastasia E. Akimova — Breast and Skin Tumor Unit, orcid.org/0000-0003-3861-0819

Eduard M. Bukin^{1,}, Viktor N. Malashenko¹, Vladimir V. Rybachkov¹, Alexander B. Vasin², Natalya S. Goloshchapova², Ivan D. Malov¹, Anastasia E. Akimova²*

¹ Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russian Federation

² Regional Clinical Oncological Hospital, Yaroslavl, Russian Federation

*Correspondence to: Eduard M. Bukin, e-mail: eduardbukin1991@gmail.com

Abstract

Introduction. Cutaneous melanoma is an aggressive malignant tumor of neuroectodermal origin. According to statistics, most patients begin treatment at stages 2 and 3 of the disease. This worsens the prognosis and determines the need for expanding the scope of surgical treatment. Aim: To improve the outcomes of lymphatic surgery in patients with cutaneous melanoma. **Materials and methods.** A total of 190 medical records of cutaneous melanoma patients is analyzed. The feasibility of escalation and de-escalation of interventions is statistically assessed. The formed prospective sample includes 43 stage 3 patients subjected to surgery by intraoperative lymphorrhea-preventing methods. **Results and discussion.** Prophylactic lymphadenectomy appears nonoptimal since most patients have no evidence of lymph node involvement at the time of surgery. Refusal to perform an extended intervention scarcely ever meet the requirements of oncological safety. Of 43 patients with metastatic lymph node involvement, 25 persons had involvement of only one lymph node; two or more lymph nodes were involved in 18 patients. If lymphadenectomy is not performed, a high risk of recurrence is possible in 41% of patients. Patients with stage 1 cutaneous melanoma observe a low percentage of both lymph collector damage and regional metastasis in the distant period. Stage 3 patients have an increased risk of postoperative adverse events. Sealing of lymphatic vessels, careful treatment of surrounding structures, as well as the use of optical magnification show good results in the prevention of postoperative lymphorrhea to reduce the risk of other complications. **Conclusion.** The type of surgical intervention in patients with cutaneous melanoma should be based on prognose analysis, considered in accordance with possible risks and, if necessary, supplemented by the use of means to prevent complications.

Keywords: melanoma, sentinel lymph node, sentinel lymph node biopsy, lymphatic system metastases, lymphorrhea, postoperative complications, lymphadenectomy

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

Sponsorship data. This work is not funded.

Author contributions. The authors contributed equally to this article.

For citation: Bukin E.M., Malashenko V.N., Rybachkov V.V., Vasin A.B., Goloshchapova N.S., Malov I.D., Akimova A.E. Features of lymphatic surgery in patients with cutaneous melanoma. *Creative Surgery and Oncology*. 2025;15(4):313–320. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-313-320>

Received: 19.06.2025

Revised: 01.09.2025

Accepted: 17.09.2025

ВВЕДЕНИЕ

Меланома кожи — крайне агрессивная злокачественная опухоль нейроэктодермального происхождения, распространенная среди мужского и женского населения Российской Федерации [1]. Заболеваемость составляет 1,6% у мужчин и 2% у женщин. Количество впервые выявленных случаев меланомы неуклонно растет, что в первую очередь связано с ростом онкологической осведомленности населения и специалистов первичного звена [2]. Однако при разделении пациентов по стадиям, к большому сожалению, отмечается превалирование пациентов 2-й и 3-й стадий (41,9 и 10,2% соответственно). Учитывая риски при проведении хирургического этапа лечения или в ближайшие сроки после него, «золотым стандартом» считается одновременное вмешательство на лимфатических коллекторах [3]. Биопсия сигнальных лимфатических узлов повышает показатели безрецидивной выживаемости и позволяет подобрать правильные опции адъювантной терапии [4].

Вмешательства на лимфатическом аппарате неминуемо связаны с риском осложнений как в ранний, так и в поздний послеоперационные периоды [5, 6]. При этом, если говорить о пациентах с локализацией первичного процесса в области туловища, существует вероятность выполнения биопсии сигнальных лимфатических узлов сразу в нескольких отдаленных группах лимфоколлекторов. Возникновение послеоперационной серомы вследствие лимфорейи после удаления лимфатических узлов находится в прямой зависимости от количества удаленных узлов, а также от коморбидности пациентов [7, 8]. Присоединение инфекции, обусловленной длительным сохранением дренажа, а также несвоевременной эвакуацией лимфоцеле, может повлечь необходимость хирургического пособия и отказ от проведения специального противоопухолевого лечения, что, безусловно, сказывается на показателях общей и безрецидивной выживаемости у пациентов с меланомой кожи. Отказ от адъювантного лечения или его задержка дольше 9 недель несет риск прогрессирования от 18 до 40% в зависимости от стадии болезни. Наличие очага воспаления увеличивает риск инвалидизации в связи с увеличенной частотой возникновения лимфедемы и WEB-синдрома: так, в соответствии с оценкой качества жизни по SF-36 у пациентов с лимфедемой отмечалось уменьшение показателей общего здоровья на 20%, жизнеспособности на 31%, а ролевого и социального функционирования на 52% [9]. Кроме того, нарастание отека влечет за собой повышение риска тромботических осложнений, что, конечно, нельзя игнорировать при планировании лечения. Выполнение полной лимфаденэктомии в случае метастатического поражения сигнального лимфатического узла является основной тактической опцией в соответствии с клиническими рекомендациями Министерства здравоохранения Российской Федерации [10], однако дискуссионным остается вопрос об отказе от выполнения лимфаденэктомии в пользу динамического наблюдения [11]. Снижение рисков осложнений после оперативного вмешательства — важная задача, которая стоит

перед хирургом. Однако онкологическая безопасность является фундаментальным компонентом любого подхода. Современные решения по борьбе с возможными нежелательными явлениями должны сочетать в себе эффективность, доступность и низкую экономическую токсичность [12].

Цель исследования: рассмотреть тактические и технические подходы к выполнению операций на лимфатическом аппарате у пациентов с меланомой кожи.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведен анализ 190 историй болезней пациентов с меланомой 1, 2 и 3-й стадии (12,1, 41,0 и 46,9% соответственно), проходивших хирургический этап лечения в условиях стационара онкологического профиля в период с 2020 по 2023 г. Повторные явки пациентов, а также лечение рецидивных процессов отслежены и обобщены в соответствии с критериями возможности выполнения радикального вмешательства в объеме резекции R0. Статистические подсчеты выполнены в программе Statistica 10 [13]. Средний возраст пациентов составил 66 лет (среднее квадратичное отклонение 13 лет). Женщины — 61,5%, мужчины — 48,5% от числа исследуемых.

Для ответа на вопрос о необходимости эскалации или безопасности дезэскалации при вмешательствах на лимфатическом аппарате у пациентов с меланомой кожи мы сформировали два тезиса и проверили их путем статистического анализа обобщенных данных. Необходимо ли всем пациентам с отсутствием клинически определяемых метастатических лимфатических узлов выполнять полноценную лимфодиссекцию? Безопасен ли отказ от лимфаденэктомии у пациентов при поражении одного сигнального лимфатического узла? Пациентам с первой и второй клиническими стадиями заболевания выполнялась биопсия сигнальных лимфатических узлов одномоментно либо отсроченно, после получения результатов гистологического заключения (144 пациента). Выявление метастатического поражения сигнального лимфатического узла являлось показанием к проведению завершающей лимфодиссекции пораженного лимфоколлектора (43 пациента — 29,8%).

В зависимости от типа выполненного вмешательства пациенты разделены на группы: подмышечно-подключично-подлопаточная лимфаденэктомия — группа «А» (23 пациента), пахово-бедренная лимфаденэктомия — группа «В» (20 пациентов). В зависимости от количества пораженных лимфатических узлов исследуемые разделены на 2 группы: группа «С» — 1 пораженный лимфатический узел (25 пациентов — 13,12%), группа «С1» — 2 и более пораженных лимфатических узла (18 пациентов — 9,47%). Пациентам с 3-й клинической стадией выполнялось комбинированное вмешательство, включавшее иссечение первичного очага с одномоментной лимфаденэктомией (46 пациентов). Из них подмышечно-подключично-подлопаточная лимфаденэктомия — группа «А1» (25 пациентов), пахово-бедренная лимфаденэктомия — группа «В1» (21 пациент). В группах пациентов, которым выполнена

пахово-бедренная (группы «В», «В1»), а также подмышечно-подключично-подлопаточная лимфаденоэктомия (группы «А», «А1») количественно измерен объем лимфорееи после дренирования послеоперационной раны системой Redon, а также оценены послеоперационные осложнения.

Для оценки тяжести осложнений использована шкала Clavien-Dindo [14]. Случаи возникновения осложнений разной тяжести у одного пациента учитывались в виде самостоятельных событий. Для оценки эффективности методов борьбы с лимфорееей в группах «А» и «В» этап диссекции проводился под оптическим увеличением с использованием методики двойной коагуляционной пломбировки [15, 16]. Установлено ограничение выходной мощности электрокоагулятора 30 Вт, а также соблюдение условий формирования линии шва последовательным лигированием с углом не менее 90°. При наличии технической возможности сохранялись анатомические образования мелкого калибра, пересечение которых не подразумевалось объемами выполняемой диссекции. В случае операций на подмышечной впадине к ним стоит отнести: *a. et v. thoracicus lateralis, v. thoracoepigastrica, rr. ventrales (nn. intercostales), n. intercostobrachialis*. При выполнении пахово-бедренной лимфаденоэктомии: *ramus femoralis n. genitofemoralis, v. saphena magna, n. cutaneus femoris lateralis, a. et v. pudenda externa*.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проверка первого тезиса показала, что обоснованность выполнения профилактической лимфаденоэктомии пациентам с меланомой кожи не имеет статистической значимости. У 101 пациента (81.2%) выполнение лимфаденоэктомии не выявило метастатического поражения, обоснованно же вмешательство лишь у 43 пациентов. При проверке тезиса о том, что лимфаденоэктомия не была выполнена, мы сталкиваемся с обратной картиной, когда отказ от операции обоснован в соответствии с онкологическими критериями у 101 исследуемого, тогда как у 43 пациентов это влечет пропуск ранее не верифицированного метастатического поражения лимфатических узлов (критерий хи-квадрат между группами значим ($p < 0,001$)). Опираясь на эти данные, можно сделать заключение, что профилактическое выполнение лимфаденоэктомии пациентам с меланомой кожи нецелесообразно ввиду высокой травматичности вмешательства при низкой прогностической ценности [17].

Нами также были проанализированы отдаленные результаты лечения указанных пациентов. В течение 4 лет наблюдения за 190 пациентами (144 пациента из группы БСЛУ и 46 пациентов первичной лимфодиссекции) 112 пациентов не имели признаков прогрессирования, из них 20 пациентов с 1-й стадией, 56 пациентов со 2-й стадией, 36 пациентов с 3-й стадией. 25 пациентов столкнулись с прогрессированием в области послеоперационного рубца, из них 12 — на 2-й стадии, 13 — на 3-й стадии. Впоследствии, у 6 пациентов выявлены отдаленные метастатические очаги. 21 пациент имел прогрессирование с поражением регионарных лимфоколлекторов. Из них 1 — со 2-й стадией, 20 — с 3-й стадией. У 9 пациентов из этой группы выявлены отдаленные метастазы при дальнейшем диспансерном наблюдении. Первичное прогрессирование в виде отдаленного метастазирования выявлено у 32 пациентов. Из них 3 — с 1-й стадией, 9 — со 2-й стадией, 20 — с 3-й стадией (рис. 1). При учете повторного прогрессирования количество пациентов из последней группы увеличивается и составляет 48 (рис. 2).

Подводя краткие итоги, мы можем видеть следующую картину: с увеличением стадии болезни растет риск отдаленного метастазирования, что заставляет нас с особой серьезностью относиться к оценке регионарных лимфатических узлов [18]. Однако выполнение лимфаденоэктомии с профилактической целью не является оптимальной тактикой в связи с тем, что статистически значимая часть пациентов не имеет признаков поражения лимфатических узлов на момент операции.

Проверка второго тезиса показала, что отказ от проведения расширенного вмешательства на лимфоколлекторе после выявления в нем метастатического поражения не отвечает требованиям онкологической безопасности. Из 43 пациентов с метастатическим поражением лимфатических узлов имели поражение только 1 лимфатического узла 25 человек, 2 и более лимфатических узлов — 18 человек. При отказе от лимфаденоэктомии тактика сопряжена со значительным риском у 41% пациентов. Статистически отличия между группами отсутствуют (критерий хи-квадрат ($p = 0,132$)).

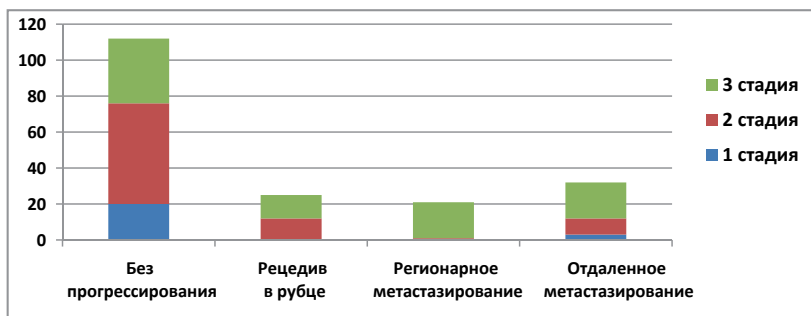


Рисунок 1. Прогрессирование в зависимости от стадии болезни
Figure 1. Progression depending on the stage of the disease

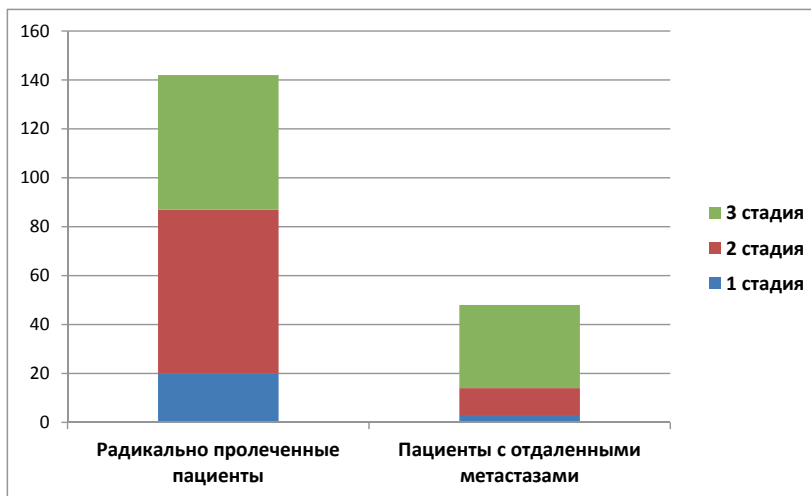


Рисунок 2. Скорректированные данные о прогрессировании
Figure 2. Adjusted progression data

Оценка выраженности послеоперационных осложнений дала следующие результаты: средний объем послеоперационной лимфорей в группе «А1» составил 584 мл (среднее квадратичное отклонение 129), 2 пациента потребовали назначения антибактериальной терапии, у 2 пациентов отмечена лимфедема верхней конечности. Объем послеоперационной лимфорей в группе «А» составил 334 мл (среднее квадратичное отклонение 119), в группе «А» не было выявлено послеоперационных осложнений.

В группе «В1» средний объем лимфорей — 1031 мл (среднее квадратичное отклонение 193), 12 пациентам назначена антибактериальная терапия с целью борьбы с инфекционными осложнениями, у 2 пациентов в послеоперационном периоде — диастаз краев послеоперационной раны. Также выявлено 3 случая развития лимфедемы нижней конечности. В группе «В» средний объем послеоперационной лимфорей — 754 мл (среднее квадратичное отклонение 189). Из пациентов указанной группы в 3 случаях назначена антибактериальная терапия. У 2 пациентов отмечено развитие лимфедемы нижней конечности. При сопоставлении эквивалентных групп указанная методика статистически значимо снижает выраженность послеоперационной лимфорей в обеих группах (значимость проверена с использованием T -критерия, $p < 0,01$) (рис. 3).

ОБСУЖДЕНИЕ

У пациентов с меланомой кожи чувствительность биопсии сигнального лимфатического узла в очередной раз подтверждена результатами нашего исследования [19, 20]. После проведенной операции в случае отсутствия признаков метастатического поражения сторожевого узла прогрессирование в виде поражения регионарных лимфоколлекторов отмечено в 1 случае. Назначение адекватных опций адъювантной терапии у пациентов с 3-й стадией заболевания в значительной степени улучшает показатели выживаемости без признаков прогрессирования. В соответствии с результатами исследования MSLT-1 биопсия сигнального лимфатического узла показывает прогностическую и возможную терапевтическую ценность для пациентов с меланомой средней толщины и толстой меланомой. При этом у пациентов с 1-й стадией целесообразность этой операции вызывает сомнения [21, 22]. Из пациентов с 1-й клинической стадией болезни отдаленное метастазирование выявлено в 3 случаях. При этом поражение сигнального лимфатического узла отмечено в 1 случае, однако указанный пациент имел поражение суммарно 4 лимфатических узлов и раннее прогрессирование в виде метастазирования в головной мозг. Как следствие, можно сделать вывод о недостаточности предоперационного обследования состояния лимфоколлекторов на догоспитальном этапе. В остальном группа пациентов с меланомой 1-й стадии не имела признаков поражения лимфоколлекторов. Признаки прогрессирования с поражением регионарных лимфатических узлов также отсутствовали. Следует полагать, что биопсия сигнального лимфатического узла у данной категории больных не несет значительной выгоды и может быть

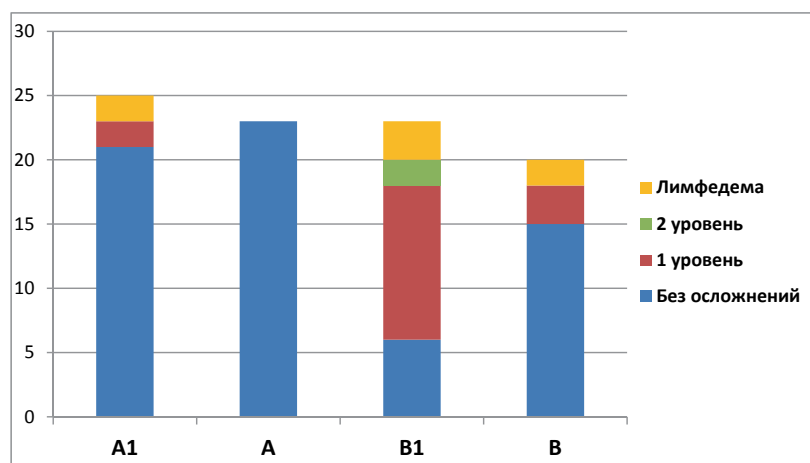


Рисунок 3. Осложнения по Clavien-Dindo в группах
Figure 3. Clavien-Dindo complications in groups

безопасно заменена на полноценное предоперационное обследование [23, 24].

Решением проблемы с адекватной оценкой статуса лимфатических узлов, на наш взгляд, может стать дополнительное обучение врачей ультразвуковой диагностики, расширение показаний для назначения МРТ или ПЭТ-КТ [25, 26]. Дополнительный анализ литературы показывает, что проведение вмешательств на лимфатических узлах у пациентов с первичной опухолью толщиной 0,8 мм несет высокий риск затрат, при этом вероятность поражения сигнального лимфатического узла у этой группы пациентов составляет менее 4% [27].

В другом исследовании при сравнении онкологических показателей группа пациентов с тонкой меланомой после удаления первичного очага и сторожевого лимфатического узла демонстрировала лучшую десятилетнюю выживаемость без признаков метастатического поражения в области лимфоколлекторов по сравнению с группой изолированной локальной хирургии. К сожалению, это не повлияло на показатели специфической выживаемости при меланоме кожи [28]. При этом увеличение времени операции и возрастающая ее сложность повышают нагрузку на операционную бригаду и создают необходимость госпитализации в стационары, укомплектованные необходимым высокотехнологичным оборудованием.

С точки зрения пациента с 1-й стадией меланомы возрастающий риск возможных осложнений, особенно при существующей предрасположенности к возникновению нежелательных явлений или наличием относительных соматических противопоказаний к проведению системной терапии, может быть неоправданным. На наш взгляд, требуются дальнейшие сравнительные исследования в этой области, что позволит получить более корректные данные для формирования лечебной тактики у большинства пациентов с меланомой кожи.

У пациентов с 3-й стадией заболевания, с учетом необходимости выполнения расширенных вмешательств с одновременным удалением лимфатических узлов, хирургическая техника требует особого внимания. Стоит

заметить, что согласно данным исследований MSLT-II и DeCOG-SLT, притом что показатели выживаемости без рецидива в группе диссекции после выявления метастаза в сторожевом лимфатическом узле были объективно лучше, разница в трехлетней выживаемости остается статистически незначимой. Несмотря на это, многие специалисты говорят о возможной недооценке дополнительных факторов риска прогрессирования при проведении указанных исследований [29]. Кроме того, не был проведен анализ выживаемости пациентов с субоптимальным форматом адьювантного лечения. На наш взгляд, снижение вероятности осложнений в этой группе пациентов не всегда следует реализовывать за счет дэскалации хирургической активности. Пациентам из группы предстоящего расширенного вмешательства стоит рассмотреть применение комбинированных способов профилактики нежелательных явлений.

Анализ послеоперационных осложнений показал, что в группе «A1» отмечалось 2 осложнения 1-го уровня по Clavien-Dindo, что потребовало назначения антибактериальной терапии. В отдаленном периоде у 2 пациентов выявлена лимфедема верхней конечности. Что, бесспорно, снижает качество жизни пациента. В группе «A», в свою очередь, не отмечалось послеоперационных осложнений. Пахово-бедренная лимфаденэктомия в группе «B1» была сопряжена с достаточно высоким процентом послеоперационных нежелательных явлений: 12 пациентов 1-го уровня по Clavien-Dindo, 2 пациента со 2-м уровнем. Кроме того, у 3 пациентов в отдаленном периоде возникла лимфедема нижней конечности. В группе исследования в послеоперационном периоде осложнения 1-го уровня возникли в 3 случаях. Притом лимфедема нижней конечности развилась у 2 пациентов. Оценка значимости различий в осложнениях между эквивалентными группами нецелесообразна ввиду малой выборки, однако описательная статистика позволяет сделать выводы, что частота госпитальных осложнений может быть связана с объемом послеоперационной лимфореи, особенно в группе пахово-бедренной лимфаденэктомии. Положительное влияние техники вмешательства в этой группе на отдаленные осложнения остается статистически не доказанным. В литературных источниках есть информация о возможной корреляции вероятности развития лимфедемы и выраженности ранних послеоперационных осложнений [30]. Однако уменьшение количества нежелательных явлений и сокращение времени, проведенного в стационаре, положительно влияет как на удовлетворенность пациентов лечением, так и на их комплаентность. Притом важным фактором при принятии решения об использовании того или иного метода борьбы с лимфореей является его стоимость и сложность в воспроизведении. Пломбировка лимфатических сосудов и бережное отношение к окружающим структурам за счет уменьшения выходной мощности электрокоагулятора и использования оптического увеличения является перспективной методикой, отвечающей указанным требованиям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Не вызывает сомнения тот факт, что расширенные вмешательства на лимфатическом аппарате несут высокий риск ранних и поздних послеоперационных осложнений [31]. Тщательный прогностический анализ позволяет определить группу пациентов, у которой подобные операции оправданы. Биопсия сигнального лимфатического узла с точки зрения хирургической агрессии обладает значительным преимуществом: меньшим риском развития длительной послеоперационной лимфореи. Это сокращает время пребывания пациентов в стационаре, позволяя значительно раньше начать следующие этапы лечения. Кроме того, по данным различных исследований, биопсия сигнального лимфатического узла по сравнению с тотальной лимфаденэктомией сопряжена с меньшим риском развития лимфедемы конечностей. Однако онкологическая целесообразность в случае поражения лимфатических узлов диктует нам необходимость полной диссекции пораженного лимфатического коллектора для обеспечения оптимальной циторедукции и улучшения отдаленных результатов лечения.

Главенствующая позиция хирургического этапа в комплексном лечении меланомы кожи требует внимательного анализа. Разработка новых лекарственных препаратов открывает широкие перспективы для пациентов. Однако на сегодняшний день выбор тактики оперативного вмешательства напрямую сказывается на прогнозе, что диктует нам необходимость дальнейших исследований и поиска оптимальных стратегий в этой области. Данные обобщены, конфликт интересов отсутствует.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О. (ред.) Злокачественные новообразования в России в 2021 году (заболеваемость и смертность). М.; 2022.
- Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О. (ред.) Состояние онкологической помощи населению России в 2021 году. М.; 2022.
- Dixon A.J., Sladden M., Zouboulis C.C., Popescu C.M., Nirenberg A., Steinman H.K., et al. Primary cutaneous melanoma-management in 2024. *J Clin Med.* 2024;13(6):1607. DOI: 10.3390/jcm13061607
- Swetter S.M., Johnson D., Albertini M.R., Barker C.A., Bateni S., Baumgartner J., et al. NCCN Guidelines® Insights: melanoma: cutaneous, version 2.2024. *J Natl Compr Canc Netw.* 2024;22(5):290–8. DOI: 10.6004/jncn.2024.0036
- Arié A., Yamamoto T. Lymphedema secondary to melanoma treatments: diagnosis, evaluation, and treatments. *Glob Health Med.* 2020;2(4):227–34. DOI: 10.35772/ghm.2020.01022
- Shen C., Shah J.K., Cevallos P., Nazerali R., Rosen J.M. Lymphadenectomy after melanoma — a national analysis of recurrence rates and risk of lymphedema. *Ann Plast Surg.* 2024;92(4S Suppl 2):S284–92. DOI: 10.1097/SAP.0000000000003867
- Torresetti M., Scalise A., Pelliccioni M., Taddei F.M.J., Di Benedetto G. The role of surgical drainage on complications after sentinel lymph node biopsy for melanoma. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2022;10(11):e4642. DOI: 10.1097/GOX.0000000000004642
- Almeida Oliveira F., Klose J., Schulze H.J., Ribeiro Teixeira M., Dermietzel A., Wellenbrock S. et al. The influence of obesity on melanoma and sentinel lymph node diagnosis: a retrospective monocentric study in 1001 patients. *Cancers (Basel).* 2023;15(6):1806. DOI: 10.3390/cancers15061806
- Lau K., Patel S., Rogers K., Smith S., Riba M. Cancer-related lymphedema and psychological distress. *Curr Psychiatry Rep.* 2024;26(11):635–42. DOI: 10.1007/s11920-024-01543-y
- Клинические рекомендации. Меланома кожи и слизистых оболочек. М.; 2025. URL: <https://cr.minzdrav.gov.ru> (дата обращения: 12.05.2025).

- 11 Mathias B.J., Sun J., Sun W., Zhou J.M., Fulp W.J., Laronga C., et al. Surgeon bias in the management of positive sentinel lymph nodes. *Clin Breast Cancer*. 2021;21(1):74–9. DOI: 10.1016/j.clbc.2020.07.010
- 12 Brunelle C.L., Jackson K., Shallwani S.M., Hunley J.H., Kennedy A., Fench S., et al. Evidence-based recommendations regarding risk reduction practices for people at risk of or with breast cancer-related lymphedema: consensus from an expert panel. *Med Oncol*. 2024;41(11):298. DOI: 10.1007/s12032-024-02510-6
- 13 Аннаева М., Мередов А. Основные статистические методы и их применение. *Вестник науки*. 2023;10(67):16–9.
- 14 Clavien P.A., Strasberg S.M. Severity grading of surgical complications. *Ann Surg*. 2009;250(2):197–8. DOI: 10.1097/SLA.0b013e3181b6dcab
- 15 Slavu I.M., Tulin A., Filipoiu F., Dogaru A., Munteanu O., Anca Monica O.M., et al. Axillary lymphadenectomy: safe dissection through a correct technique. *Cureus*. 2024;16(1):e52434. DOI: 10.7759/cureus.52434
- 16 Букин Э.М. Способ интраоперационной профилактики лимфореи при выполнении радикальной мастэктомии или радикальной резекции молочной железы с подмышечно-подлопаточной-подключичной лимфодиссекцией: патент Российская Федерация 2818949C1 от 07.04.2024.
- 17 Han D., van Akkooi A.C.J., Straker R.J. 3rd, Shannon A.B., Karakousis G.C., Wang L., et al. Current management of melanoma patients with nodal metastases. *Clin Exp Metastasis*. 2022;39(1):181–99. DOI: 10.1007/s10585-021-10099-7
- 18 Faries M.B. Melanoma trials that defined surgical management. *J Surg Oncol*. 2022;125(1):34–7. DOI: 10.1002/jso.26744
- 19 Broman K.K., Hughes T., Dossett L., Sun J., Kirichenko D., Carr M.J., et al. Active surveillance of patients who have sentinel node positive melanoma: An international, multi-institution evaluation of adoption and early outcomes after the Multicenter Selective Lymphadenectomy Trial II (MSLT-2). *Cancer*. 2021;127(13):2251–61. DOI: 10.1002/cncr.33483
- 20 Straker R.J. 3rd, Kelly N., Sharon C.E., Shannon A.B., Xu X., Elder D.E., et al. Local recurrence in patients undergoing wide excision and sentinel lymph node biopsy for cutaneous malignant melanoma: A single-center, retrospective cohort analysis. *J Am Acad Dermatol*. 2022;87(1):247–50. DOI: 10.1016/j.jaad.2021.08.011
- 21 Kim D., Chu S., Khan A.U., Compres E.V., Zhang H., Gerami P., et al. Risk factors and patterns of recurrence after sentinel lymph node biopsy for thin melanoma. *Arch Dermatol Res*. 2022;314(3):285–92. DOI: 10.1007/s00403-021-02229-8
- 22 Williams T.S., Tallon B., Adams B.M. Melanoma sentinel lymph node biopsy and completion lymph node dissection: A regional hospital experience. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2022;75(2):730–6. DOI: 10.1016/j.bjps.2021.09.077
- 23 Zhang S., Zhu S., Hua S., Zou X., Luo Y. The Importance of SPECT/CT in preoperative localization of sentinel lymph nodes in 2 patients with acral melanoma in the foot. *Clin Nucl Med*. 2022;47(1):e32–3. DOI: 10.1097/RLU.00000000000003700
- 24 El Sharouni M.A., Stodell M.D., Ahmed T., Suijkerbuijk K.P.M., Cust A.E., Witkamp A.J., et al. Sentinel node biopsy in patients with melanoma improves the accuracy of staging when added to clinicopathological features of the primary tumor. *Ann Oncol*. 2021;32(3):375–83. DOI: 10.1016/j.annonc.2020.11.015
- 25 Moncrieff M., Pywell S., Snelling A., Gray M., Newman D., Beadsmoore C., et al. Effectiveness of SPECT/CT imaging for sentinel node biopsy staging of primary cutaneous melanoma and patient outcomes. *Ann Surg Oncol*. 2022;29(2):767–75. DOI: 10.1245/s10434-021-10911-4
- 26 Mirzaei N., Katsarelias D., Zaar P., Jalneford O., Johansson I., Leonhardt H., et al. Sentinel lymph node localization and staging with a low-dose of superparamagnetic iron oxide (SPIO) enhanced MRI and magnetometer in patients with cutaneous melanoma of the extremity — The MAGMEN feasibility study. *Eur J Surg Oncol*. 2022;48(2):326–32. DOI: 10.1016/j.ejso.2021.12.467
- 27 Herb J.N., Ollila D.W., Stitzenberg K.B., Meyers M.O. Use and costs of sentinel lymph node biopsy in non-ulcerated T1b melanoma: analysis of a population-based registry. *Ann Surg Oncol*. 2021;28(7):3470–8. DOI: 10.1245/s10434-021-09998-6
- 28 Hu Y., Briggs A., Gennarelli R.L., Bartlett E.K., Ariyan C.E., Coit D.G., et al. Sentinel lymph node biopsy for T1b melanoma: balancing prognostic value and cost. *Ann Surg Oncol*. 2020;27(13):5248–56. DOI: 10.1245/s10434-020-08558-8
- 29 Williams T.S., Arathill-Whitham J., Bailey T.A., Hayward G., Li A., Tallon B., et al. New Zealand patients have a higher melanoma burden in sentinel nodes and completion lymphadenectomy than patients in MSLT-II. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2023;83:98–105. DOI: 10.1016/j.bjps.2023.04.019
- 30 Gjorup C.A., Dahlstroem K., Hendel H.W., Drzewiecki K.T., Klausen T.W., Hölmich L.R. Factors associated with melanoma-related limb lymphoedema. *Acta Oncol*. 2021;60(6):779–84. DOI: 10.1080/0284186X.2021.1905175
- 31 Chen T., Lin Y., Tan Q. Risk factors for lower extremity lymphedema after inguinal lymphadenectomy in melanoma patients: A retrospective cohort study. *Surg Open Sci*. 2022;8:33–9. DOI: 10.1016/j.sopen.2022.02.001

REFERENCES

- 1 Kaprin A.D., Starinskiy V.V., Shakhzadova A.O., editors. Malignant neoplasms in Russia in 2021: morbidity and mortality. Moscow; 2022 (In Russ.).
- 2 Kaprin AD, Starinskiy VV, Shakhzadova AO, editors. The state of oncological care to the population of Russia in 2021. Moscow; 2022 (In Russ.).
- 3 Dixon A.J., Sladden M., Zouboulis C.C., Popescu C.M., Nirenberg A., Steinman H.K., et al. Primary cutaneous melanoma-management in 2024. *J Clin Med*. 2024;13(6):1607. DOI: 10.3390/jcm13061607
- 4 Swetter S.M., Johnson D., Albertini M.R., Barker C.A., Bateni S., Baumgartner J., et al. NCCN Guidelines® Insights: melanoma: cutaneous, version 2.2024. *J Natl Compr Canc Netw*. 2024;22(5):290–8. DOI: 10.6004/jnccn.2024.0036
- 5 Arié A., Yamamoto T. Lymphedema secondary to melanoma treatments: diagnosis, evaluation, and treatments. *Glob Health Med*. 2020;2(4):227–34. DOI: 10.35772/ghm.2020.01022
- 6 Shen C., Shah J.K., Cevallos P., Nazerali R., Rosen J.M. Lymphadenectomy after melanoma — a national analysis of recurrence rates and risk of lymphedema. *Ann Plast Surg*. 2024;92(4S Suppl 2):S284–92. DOI: 10.1097/SAP.0000000000003867
- 7 Torresetti M., Scalise A., Pelliccioni M., Taddei F.M.J., Di Benedetto G. The role of surgical drainage on complications after sentinel lymph node biopsy for melanoma. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2022;10(11):e4642. DOI: 10.1097/GOX.00000000000004642
- 8 Almeida Oliveira F., Klose J., Schulze H.J., Ribeiro Teixeira M., Dermietzel A., Wellenbrock S. et al. The influence of obesity on melanoma and sentinel lymph node diagnosis: a retrospective monocentric study in 1001 patients. *Cancers (Basel)*. 2023;15(6):1806. DOI: 10.3390/cancers15061806
- 9 Lau K., Patel S., Rogers K., Smith S., Riba M. Cancer-related lymphedema and psychological distress. *Curr Psychiatry Rep*. 2024;26(11):635–42. DOI: 10.1007/s11920-024-01543-y
- 10 Clinical guidelines. Skin melanoma and mucosal melanoma. M.; 2025. [cited 2025 May 12]. Available from: URL: <https://cr.minzdrav.gov.ru> (In Russ.).
- 11 Mathias B.J., Sun J., Sun W., Zhou J.M., Fulp W.J., Laronga C., et al. Surgeon bias in the management of positive sentinel lymph nodes. *Clin Breast Cancer*. 2021;21(1):74–9. DOI: 10.1016/j.clbc.2020.07.010
- 12 Brunelle C.L., Jackson K., Shallwani S.M., Hunley J.H., Kennedy A., Fench S., et al. Evidence-based recommendations regarding risk reduction practices for people at risk of or with breast cancer-related lymphedema: consensus from an expert panel. *Med Oncol*. 2024;41(11):298. DOI: 10.1007/s12032-024-02510-6
- 13 Annaeva M., Meredov A. Basic statistical methods and their applications. *Vestnik nauki*. 2023;10(67):16–9 (In Russ.).
- 14 Clavien P.A., Strasberg S.M. Severity grading of surgical complications. *Ann Surg*. 2009;250(2):197–8. DOI: 10.1097/SLA.0b013e3181b6dcab
- 15 Slavu I.M., Tulin A., Filipoiu F., Dogaru A., Munteanu O., Anca Monica O.M., et al. Axillary lymphadenectomy: safe dissection through a correct technique. *Cureus*. 2024;16(1):e52434. DOI: 10.7759/cureus.52434
- 16 Bukin E.M. Method for intraoperative prevention of lymphorrhea when performing radical mastectomy or radical resection of mammary gland with axillary-subclavian-subclavian lymph node dissection: Russian Federation patent 2818949C1. 2023 May 07 (In Russ.).
- 17 Han D., van Akkooi A.C.J., Straker R.J. 3rd, Shannon A.B., Karakousis G.C., Wang L., et al. Current management of melanoma patients with nodal metastases. *Clin Exp Metastasis*. 2022;39(1):181–99. DOI: 10.1007/s10585-021-10099-7
- 18 Faries M.B. Melanoma trials that defined surgical management. *J Surg Oncol*. 2022;125(1):34–7. DOI: 10.1002/jso.26744
- 19 Broman K.K., Hughes T., Dossett L., Sun J., Kirichenko D., Carr M.J., et al. Active surveillance of patients who have sentinel node positive melanoma: An international, multi-institution evaluation of adoption and early outcomes after the Multicenter Selective Lymphadenectomy Trial II (MSLT-2). *Cancer*. 2021;127(13):2251–61. DOI: 10.1002/cncr.33483

- 20 Straker R.J. 3rd, Kelly N., Sharon C.E., Shannon A.B., Xu X., Elder D.E., et al. Local recurrence in patients undergoing wide excision and sentinel lymph node biopsy for cutaneous malignant melanoma: A single-center, retrospective cohort analysis. *J Am Acad Dermatol.* 2022;87(1):247–50. DOI: 10.1016/j.jaad.2021.08.011
- 21 Kim D., Chu S., Khan A.U., Compres E.V., Zhang H., Gerami P., et al. Risk factors and patterns of recurrence after sentinel lymph node biopsy for thin melanoma. *Arch Dermatol Res.* 2022;314(3):285–92. DOI: 10.1007/s00403-021-02229-8
- 22 Williams T.S., Tallon B., Adams B.M. Melanoma sentinel lymph node biopsy and completion lymph node dissection: A regional hospital experience. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2022;75(2):730–6. DOI: 10.1016/j.bjps.2021.09.077
- 23 Zhang S., Zhu S., Hua S., Zou X., Luo Y. The Importance of SPECT/CT in preoperative localization of sentinel lymph nodes in 2 patients with acral melanoma in the foot. *Clin Nucl Med.* 2022;47(1):e32–3. DOI: 10.1097/RLU.00000000000003700
- 24 El Sharouni M.A., Stodell M.D., Ahmed T., Suijkerbuijk K.P.M., Cust A.E., Witkamp A.J., et al. Sentinel node biopsy in patients with melanoma improves the accuracy of staging when added to clinicopathological features of the primary tumor. *Ann Oncol.* 2021;32(3):375–83. DOI: 10.1016/j.annonc.2020.11.015
- 25 Moncrieff M., Pywell S., Snelling A., Gray M., Newman D., Beadsmoore C., et al. Effectiveness of SPECT/CT imaging for sentinel node biopsy staging of primary cutaneous melanoma and patient outcomes. *Ann Surg Oncol.* 2022;29(2):767–75. DOI: 10.1245/s10434-021-10911-4
- 26 Mirzaei N., Katsarelis D., Zaar P., Jalnefjord O., Johansson I., Leonhardt H., et al. Sentinel lymph node localization and staging with a low-dose of superparamagnetic iron oxide (SPIO) enhanced MRI and magnetometer in patients with cutaneous melanoma of the extremity — The MAGMEN feasibility study. *Eur J Surg Oncol.* 2022;48(2):326–32. DOI: 10.1016/j.ejso.2021.12.467
- 27 Herb J.N., Ollila D.W., Stitzenberg K.B., Meyers M.O. Use and costs of sentinel lymph node biopsy in non-ulcerated T1b melanoma: analysis of a population-based registry. *Ann Surg Oncol.* 2021;28(7):3470–8. DOI: 10.1245/s10434-021-09998-6
- 28 Hu Y., Briggs A., Gennarelli R.L., Bartlett E.K., Ariyan C.E., Coit D.G., et al. Sentinel lymph node biopsy for T1b melanoma: balancing prognostic value and cost. *Ann Surg Oncol.* 2020;27(13):5248–56. doi: 10.1245/s10434-020-08558-8
- 29 Williams T.S., Arahill-Whitham J., Bailey T.A., Hayward G., Li A., Tallon B., et al. New Zealand patients have a higher melanoma burden in sentinel nodes and completion lymphadenectomy than patients in MSLT-II. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2023;83:98–105. DOI: 10.1016/j.bjps.2023.04.019
- 30 Gjorup C.A., Dahlstroem K., Hendel H.W., Drzewiecki K.T., Klausen T.W., Hölmich L.R. Factors associated with melanoma-related limb lymphoedema. *Acta Oncol.* 2021;60(6):779–84. DOI: 10.1080/0284186X.2021.1905175
- 31 Chen T., Lin Y., Tan Q. Risk factors for lower extremity lymphedema after inguinal lymphadenectomy in melanoma patients: A retrospective cohort study. *Surg Open Sci.* 2022;8:33–9. DOI: 10.1016/j.sopen.2022.02.001
- © Букин Э.М., Малашенко В.Н., Рыбачков В.В., Васин А.Б., Голощапова Н.С., Малов И.Д., Акимова А.Е., 2025
- © Bukin E.M., Malashenko V.N., Rybachkov V.V., Vasin A.B., Goloshchapova N.S., Malov I.D., Akimova A.E., 2025

<https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-321-328>



Превентивное протезирование операционного доступа у пациентов с морбидным ожирением

О.В. Галимов, Г.И. Вагизова, В.О. Ханов, Т.Р. Ибрагимов, А.Г. Сафаргалина

Башкирский государственный медицинский университет, Россия, Республика Башкортостан, Уфа

* **Контакты:** Вагизова Гульназ Ильшатовна, e-mail: vagizova-91@mail.ru

Галимов Олег Владимирович — д.м.н., профессор, кафедра хирургических болезней лечебного факультета, orcid.org/0000-0003-4832-1682

Вагизова Гульназ Ильшатовна — кафедра хирургических болезней лечебного факультета, orcid.org/0000-0001-7180-715X

Ханов Владислав Олегович — д.м.н., профессор, кафедра хирургических болезней лечебного факультета, orcid.org/0000-0002-1880-0968

Ибрагимов Тельман Рамизович — к.м.н., доцент, кафедра хирургических болезней лечебного факультета, orcid.org/0009-0006-7364-8061

Сафаргалина Айгуль Гирфановна — кафедра хирургических болезней лечебного факультета, orcid.org/0000-0002-0148-4559

Аннотация

Введение. Пациенты с морбидным ожирением (ИМТ ≥ 35 кг/м²) являются группой высокого риска развития послеоперационных вентральных грыж из-за повышенного внутрибрюшного давления, особенностей анатомии и сопутствующих заболеваний. Основной причиной формирования грыж являются послеоперационные осложнения (серомы, гематомы, нагноения, эвентрации), а также факторы, повышающие внутрибрюшное давление (кашель, запоры, физические нагрузки и др.). Цель исследования: снижение частоты образования послеоперационных вентральных грыж и послеоперационных осложнений у пациентов с морбидным ожирением. **Материалы и методы.** Разработанный и внедренный в клиническую практику способ профилактики образования послеоперационных вентральных грыж у пациентов высокого риска, который заключается в превентивном протезировании лапаротомного доступа. Способ заключается в установке синтетического имплантата (полипропилена) в ретромускулярное пространство с фиксацией к апоневрозу внутренних косых мышц живота. **Результаты.** Техническим результатом использования способа является формирование плотного соединительнотканного рубца и снижение частоты образования послеоперационных вентральных грыж за счет минимизации риска миграции и отторжения синтетического имплантата. **Обсуждение.** Согласно приведенным данным статистически значимо ($p = 0,039$) снизилась частота образования послеоперационных вентральных грыж в сравниваемых группах с 30,7 до 5,2%. Различия в развитии сером и гематом в основной и контрольной группах статистически не значимы ($>0,05$) и составили 21,05 и 19,2%, которые разрешились самостоятельно без инвазивных вмешательств. **Заключение.** Пациентам с морбидным ожирением с целью снижения риска образования послеоперационных вентральных грыж рекомендовано выполнение превентивного протезирования при проведении оперативных вмешательств лапаротомным доступом. Преимущество в использовании способа заключается в уменьшении послеоперационных осложнений, в том числе возникновения хронического болевого синдрома, и улучшении качества жизни пациентов.

Ключевые слова: морбидное ожирение, послеоперационные вентральные грыжи, профилактика послеоперационных грыж, превентивное протезирование, полипропилены, синтетические импланты

Информированное согласие. Информированное согласие пациента на публикацию своих данных получено.

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Данная работа не финансировалась.

Вклад авторов. Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Для цитирования: Галимов О.В., Вагизова Г.И., Ханов В.О., Ибрагимов Т.Р., Сафаргалина А.Г. Превентивное протезирование операционного доступа у пациентов с морбидным ожирением. Креативная хирургия и онкология. 2025;15(4):321–328. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-321-328>

Поступила в редакцию: 12.05.2025

Поступила после рецензирования и доработки: 30.06.2025

Принята к публикации: 08.07.2025

Preventive Endoprosthetics in Patients with Morbid Obesity

Oleg V. Galimov — Dr. Sci. (Med.), Prof., Department of Surgical Diseases, Faculty of Medicine, orcid.org/0000-0003-4832-1682

Gulnaz I. Vagizova — Department of Surgical Diseases, Faculty of Medicine, orcid.org/0000-0001-7180-715X

Vladislav O. Khanov — Dr. Sci. (Med.), Prof., Department of Surgical Diseases, Faculty of Medicine, orcid.org/0000-0002-1880-0968

Telman R. Ibragimov — Cand. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Department of Surgical Diseases, Faculty of Medicine, orcid.org/0009-0006-7364-8061

Aygul G. Safargalina — Department of Surgical Diseases, Faculty of Medicine, orcid.org/0000-0002-0148-4559

Oleg V. Galimov, Gulnaz I. Vagizova, Vladislav O. Khanov, Telman R. Ibragimov, Aygul G. Safargalina

Bashkir State Medical University, Ufa, Russian Federation

*Correspondence to: Gulnaz I. Vagizova, e-mail: vagizova-91@mail.ru

Abstract

Introduction. Patients with morbid obesity ($BMI \geq 35 \text{ kg/m}^2$) are at high risk of developing postoperative ventral hernias due to increased intra-abdominal pressure, anatomical features and comorbidities. The main cause of hernias are postoperative complications, including seromas, hematomas, suppurations and eventrations, as well as factors increasing intra-abdominal pressure, such as cough, constipation, physical activity, etc. **Aim.** To reduce the incidence of postoperative ventral hernias and complications in patients with morbid obesity. **Materials and methods.** A method of endoprosthetics by laparotomy for preventing the formation of postoperative ventral hernias in high-risk patients has been developed and implemented into clinical practice. This method involves placing a synthetic implant (polypropylene) into the retromuscular space with fixation to the aponeurosis of internal oblique abdominal muscles. **Results.** The technical result of using this method involves the formation of a dense connective tissue scar and a reduction in the incidence of postoperative ventral hernias due to minimized risk of migration and rejection of the synthetic implant. **Discussion.** According to the presented data, the incidence of postoperative ventral hernias in the compared groups statistically significantly decreased from 30.7 to 5.2% ($p = 0.039$). The differences in the development of seromas and hematomas in the main and control groups are statistically insignificant (>0.05) amounting to 21.05 and 19.2%; seromas and hematomas recovered spontaneously without invasive interventions. **Conclusion.** For reducing the risk of postoperative ventral hernias, patients with morbid obesity are recommended to undergo preventive endoprosthetics during laparotomy surgery. The advantage of this method involves the reduction of postoperative complications, including the occurrence of chronic pain syndrome, and the improvement of the patients' quality of life.

Keywords: morbid obesity, postoperative ventral hernias, prevention of postoperative hernias, preventive endoprosthetics, polypropylene, synthetic implant

Statement of informed consent. Written informed consent was obtained from the patient for publication of this case report and accompanying materials.

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

Sponsorship data. This work is not funded.

Author contributions. The authors contributed equally to this article.

For citation: Galimov O.V., Vagizova G.I., Khanov V.O., Ibragimov T.R., Safargalina A.G. Preventive endoprosthetics in patients with morbid obesity. *Creative Surgery and Oncology*. 2025;15(4):321–328. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-321-328>

Received: 12.05.2025

Revised: 30.06.2025

Accepted: 08.07.2025

ВВЕДЕНИЕ

Морбидное ожирение является ведущим фактором риска образования послеоперационных вентральных грыж. Причинами являются повышенное внутрибрюшное давление, наличие кожно-жирового фартука, особенности структуры апоневроза белой линии живота у пациентов с индексом массы тела более 35 кг/м^2 , а также врожденная дисплазия соединительной ткани [1, 2].

Согласно данным мировой статистики при морбидном ожирении от 28 до 40% случаев оперативных вмешательств лапаротомным доступом осложняется развитием послеоперационной вентральной грыжи [3].

Выполнение лапаротомных доступов при проведении оперативных вмешательств пациентам не теряет свою актуальность, так как, например, наличие выраженного спаечного процесса в брюшной полости, хронические заболевания легких и сердца могут быть противопоказанием к пневмоперитониуму и лапароскопии [4, 5]. И, конечно, нельзя исключить вариант конверсии доступа при развитии таких осложнений, как прошивание зонда, ранение брыжейки ободочной кишки, повреждение селезенки, желудочно-сальниковой артерии, диафрагмы, которое, по данным сайта Общества бариатрических хирургов России, случается в 4% случаев [6].

Возникновение послеоперационных вентральных грыж в течение первого года после операции чаще всего обусловлено наличием ранних послеоперационных осложнений в виде нагноения послеоперационной раны и эвентрации, которые, в свою очередь, могут развиваться вследствие необоснованного выбора хирургического доступа, травматичного оперирования, неадекватного гемостаза, сшивания неоднородных тканей, наложения частых или редких швов на апоневротические структуры, неправильного выбора шовного материала, плохого ухода за послеоперационной раной, неадекватного выбора антибактериальной терапии и др. [7–9]. Немаловажными этиологическими факторами, приводящими к развитию послеоперационных вентральных грыж в течение первого года после операции, являются состояния и заболевания, которые способствуют повышению внутрибрюшного давления: психическое возбуждение, кашель, парез кишечника, хронические запоры, затрудненное мочеиспускание и др. [10, 11].

Высокий риск послеоперационной вентральной грыжи характерен для пациентов после открытых операций на аорте и толстой кишке, пациентов с ожирением и лиц с постоянными кишечными или мочевыми стомами [12]. Причинами развития грыж у пациентов после открытой пластики аневризмы являются большие разрезы, дисплазия соединительной ткани и, как следствие, длительное восстановление и повышенная нагрузка на ткани. Исследования показывают, что до 20% таких пациентов сталкиваются с послеоперационными вентральными грыжами [13].

Пациенты после колоректальных операций часто подвержены инфекционным осложнениям послеоперационного доступа вследствие микробной контаминации,

технической сложности закрытия ран. Согласно исследованиям после колоректальных вмешательств риск развития послеоперационных вентральных грыж достигает 30% [14].

Причинами развития грыж у пациентов с морбидным ожирением ($\text{ИМТ} \geq 35 \text{ кг/м}^2$), являются повышенное внутрибрюшное давление, нарушение микроциркуляции, замедленное заживление. У пациентов с морбидным ожирением частота развития послеоперационных вентральных грыж составляет 28–40% [15].

У пациентов с постоянными коло- и уростоматами риск развития послеоперационных вентральных грыж связан с ослаблением передней брюшной стенки вокруг стомы, хроническим воспалением, механическим давлением. Статистически риск грыж у таких пациентов достигает 50% [16].

С начала XIX века различные протезы были опробованы и испытаны для предотвращения рецидивов послеоперационных грыж [17]. В настоящее время закрытие раны при грыжесечении с использованием сетчатого импланта полипропилена является «золотым стандартом» лечения и профилактики образования послеоперационных вентральных грыж [18].

Проблема возникновения вентральных грыж в течение первого года после операции не теряет своей актуальности по сей день и побуждает к поиску новых и усовершенствованию старых способов хирургического вмешательства. Дополнительная травматизация тканей вследствие чрезмерной фиксации сетчатого импланта сохраняет риск развития послеоперационных осложнений, таких как серомы, гематомы и хронический болевой синдром [19].

Стратегии минимизации рисков [20, 21]:

1. Усовершенствование методов фиксации:

- использование адгезивных материалов — биоклеи на основе фибрина или синтетических полимеров для щадящего крепления;
- саморассасывающиеся швы — уменьшение механического давления на ткани (например, нити типа PDS или Monocryl);
- ретромускулярная установка импланта.

2. Оптимизация материалов имплантов:

- биосовместимые сетки — из полипропилена с антимикробным покрытием или рассасывающиеся материалы (например, Vicryl);
- 3D-имплантаты — анатомически адаптированные конструкции, снижающие нагрузку на края раны.

3. Персонализированный подход:

- усиленный контроль процесса заживления раны у пациентов с факторами риска (морбидное ожирение, сахарный диабет или иммунодефицитные состояния);
- интраоперационная навигация — использование УЗИ или КТ для точного позиционирования импланта.

4. Послеоперационный уход:

- физиотерапия раны;
- упражнения для укрепления брюшной стенки без нагрузки на швы;
- контроль внутрибрюшного давления;
- профилактика запоров, кашля, ограничение подъема тяжестей.

Цель изобретения — снижение частоты образования послеоперационных вентральных грыж и раневых осложнений у пациентов с морбидным ожирением.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В клиническую практику внедрен способ профилактики образования послеоперационных вентральных грыж у пациентов с морбидным ожирением, который заключается в превентивном протезировании лапаротомного доступа после выполнения основного этапа оперативного вмешательства.

Изобретение [15] иллюстрируется следующими рисунками: на рисунке 1 схематично изображен первый этап шва, где: 1 — кожа и подкожно-жировая клетчатка, 2 — наружный листок влагалища прямой мышцы живота, 3 — прямая мышца живота, 4 — внутренний листок прямой мышцы живота, 5 — синтетический протез, 6 — лигатура. На рисунке 2 — изображение второго этапа шва, где осуществляют захват наружного листка влагалища прямой мышцы живота.

Предлагаемый способ профилактики образования послеоперационных грыж у пациентов группы высокого риска состоит в следующем. После завершения основ-

ного этапа лапаротомной операции и ушивания брюшины выполняют вскрытие влагалищ прямых мышц живота с обеих сторон, сепарацию прямой мышцы живота от внутреннего листка влагалища прямой мышцы живота известным способом ретромускулярной пластики. В ретромускулярное пространство устанавливают сетчатый имплант.

На первом этапе делают вкол в наружный листок влагалища прямой мышцы живота на расстоянии 1 см от края раны, затем прокалывают сетчатый имплант и внутренний листок влагалища прямой мышцы живота на расстоянии 1 см от края раны, после чего делают выкол с наружной стороны сетчатого импланта в центре, снова прокалывают сетчатый имплант на расстоянии 0,5 см от центра, далее делают выкол через внутренний листок влагалища прямой мышцы живота на расстоянии 1 см от края раны, снова проходят через сетчатый имплант и прокалывают наружный листок влагалища прямой мышцы живота на расстоянии 1 см от края раны. Далее на втором этапе делают вкол и захват противоположного наружного листка влагалища прямой мышцы живота на расстоянии 0,5 см от края одного дефекта апоневроза, а затем другого наружного листка влагалища прямой мышцы живота на расстоянии 0,5 см от края дефекта апоневроза, подобные швы накладывают на расстоянии 1 см друг от друга по всей длине послеоперационной раны. Далее накладывают стандартные швы на подкожно-жировую клетчатку и кожу.

В отличие от прототипа, описанного О. Н. El Khadrawy и соавторами [12], в заявленном нами способе отсутствует сепарация предбрюшинного пространства и фиксация сетчатого импланта к прямым мышцам живота и к брюшине. Сетчатый имплант устанавливают в ретромускулярное пространство; фиксация импланта происходит только по срединной линии к плотным сухожильным структурам апоневроза внутренних и наружных косых мышц живота, не затрагивая прямых мышц, проходящих нервных окончаний и сосудистых стволов. При этом используют специальный шов, который предусматривает отдельный захват листков апоневроза и самого сетчатого импланта.

Сущность изобретения поясняется следующими клиническими примерами.

Пример 1. Больной В., 49 лет, поступил в плановом порядке в клинику с диагнозом «морбидное ожирение». При поступлении предъявлял жалобы на избыточный вес, быструю утомляемость при физических нагрузках. Из анамнеза известно, что избыточным весом страдает около 10 лет, диеты и медикаментозная терапия без значительного эффекта. После консультации специалистов (эндокринолога, терапевта, хирурга) рекомендовано оперативное лечение. После предоперационной подготовки под эндотрахеальным наркозом проведена полостная операция — билиопанкреатическое шунтирование, по окончании которого выполнено превентивное протезирование лапаротомной раны предложенным способом.

Послеоперационный период протекал без осложнений, заживление раны первичным натяжением. По резуль-

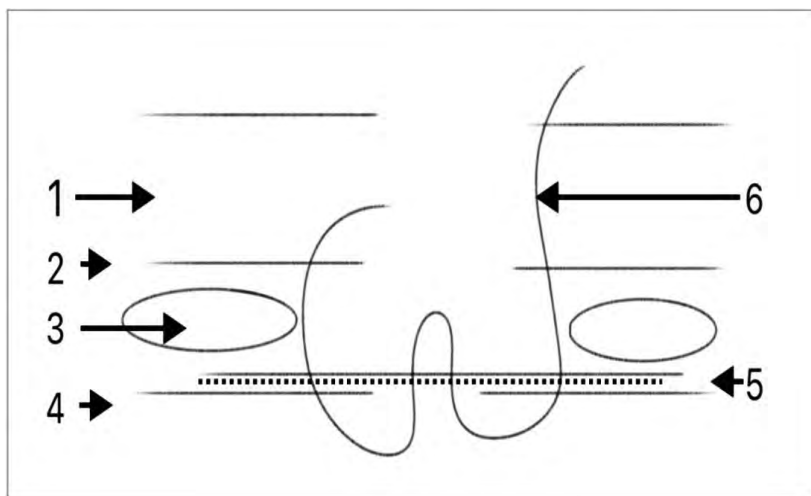


Рисунок 1. Первый этап шва
Figure 1. The first stage of the seam

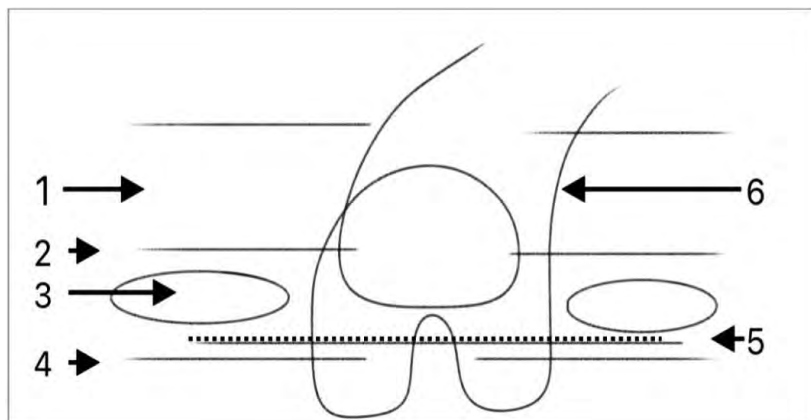


Рисунок 2. Второй этап шва
Figure 2. The second stage of the seam

татам ультразвукового исследования жидкостных образований в подкожно-жировой клетчатке в виде сером и гематом не выявлено. Пациент выписан на 9-е сутки после операции. Швы с кожи сняты на 10-е сутки при контрольном осмотре.

В результате осмотра через 6 и 12 месяцев после операции образования послеоперационных вентральных грыж не наблюдалось.

Согласно данным компьютерной томографии, проведенной через год после операции, сформирован плотный соединительнотканый рубец, дефектов апоневроза не обнаружено.

Пример 2. Больная К., 57 лет, поступила в плановом порядке в клинику с диагнозом «морбидное ожирение». Сопутствующее заболевание: сахарный диабет 2-го типа. Жалобы при поступлении на избыточную массу тела, дискомфорт и тяжесть при физических нагрузках. Из анамнеза известно: неоднократно пыталась похудеть самостоятельно с помощью диет и физических упражнений, которые имели временный эффект. Отмечает снижение веса на 10 кг при медикаментозной терапии, после прекращения которой опять набрала 15 кг. В связи с низкой эффективностью консервативной терапии после консультации профильными специалистами (терапевт, эндокринолог, колопроктолог, хирург) рекомендовано оперативное лечение — продольная резекция желудка. Из перенесенных операций 5 лет назад была выполнена резекция сигмовидной кишки по поводу дивертикулярной болезни. На момент осмотра на животе по нижнесрединной линии присутствовал послеоперационный рубец размерами 15,0×0,1 см, по линии рубца дефектов апоневроза и участков уплотнения подкожно-жировой клетчатки не выявлено. Предоперационная компьютерная томография также не выявила дефектов. Подготовка пациента проводилась с профилактикой инфекций в месте хирургического доступа, в которую включались предоперационные гигиенические мероприятия и обработка кожных покровов, гликемический контроль и антибиотикопрофилактика [22].

Под эндотрахеальным наркозом проведена полостная операция по поводу морбидного ожирения — продольная резекция желудка, по окончании которой полностью превентивное протезирование лапаротомной раны предложенным способом.

В раннем послеоперационном периоде через 3–4 часа после операции пациентка надевала абдоминальный послеоперационный бандаж и проводилась вертикализация. Бандаж рекомендовалось носить на постоянной основе в течение первых 2 месяцев. Далее — при физических усилиях.

Послеоперационный период протекал без осложнений. По данным ультразвукового исследования по линии послеоперационной раны в подкожно-жировой клетчатке жидкостных скоплений не выявлено. Признаков воспаления и инфицирования раны не наблюдалось, послеоперационная рана зажила первичным натяжением. Пациентка выписана на 7-е сутки после операции. Швы с раны сняты на 10-е сутки при контрольном осмотре. В результате осмотра через 6 и 12 месяцев после операции образования вентральных грыж не наблюдалось.

По данным компьютерной томографии, выполненной через год, у данной пациентки дефектов апоневроза не выявлено. Отсутствовали жалобы на возникновение болевого синдрома в области рубца.

Преимущество в использовании способа заключается в том, что предложенный шов снижает риски появления послеоперационных осложнений, в том числе возникновения хронического болевого синдрома в результате ненатяжной пластики. Техника выполнения шва, согласно полученным результатам, снижает частоту образования послеоперационных вентральных грыж и эвентрации в послеоперационном периоде, способствует формированию плотного соединительнотканного рубца. Заявляемый шов надежно фиксирует сетчатый имплант, предотвращает его миграцию, смещение или скатывание. Расположение сетчатого импланта в ретромускулярном пространстве существенно минимизирует вероятность отторжения и инфицирования импланта, уменьшение количества раневых осложнений в виде гематом, сером, повреждение брюшины с развитием спаечных процессов, травматизации стенок полых органов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В основную группу вошли 19 пациентов, у которых использован предлагаемый «Способ профилактики образования послеоперационных вентральных грыж у пациентов группы высокого риска».

Группу контроля составили 26 пациентов, которым закрытие раны проводилось традиционным способом.

Сравнительный анализ использования предложенного способа и осложнений представлен в таблице.

Согласно приведенным данным статистически значимо ($p = 0,039$) снизилась частота образования послеоперационных вентральных грыж в сравниваемых группах с 30,7 до 5,2 %.

Различия в развитии сером и гематом в основной и контрольной группах статистически не значимы и составили 21,05 и 19,2 % соответственно, которые разрешились самостоятельно без инвазивных вмешательств.

Случаи эвентрации в контрольной группе (7,6 %) потребовали повторной операции с профилактической установкой синтетического импланта и ушиванием послеоперационной раны.

В исследуемых группах возникновения хронического болевого синдрома не наблюдалось, что, возможно, требует более длительного наблюдения.

Исходя из этого техническим результатом использования способа можно считать снижение риска образования послеоперационных вентральных грыж за счет формирования плотного соединительнотканного рубца, минимизации миграции и отторжения синтетического протеза.

Подтверждением этому являются исследования, проведенные A. Le Ruget и соавторами на животных (свиньи), показавшие положительное влияние профилактической сетки на биомеханику передней брюшной стенки, основанные на механическом растяжении эксплантированной передней брюшной стенки и анализах снимков КТ [23].

Критерии	Основная группа	Контрольная группа	p
Количество (n)	19	26	-
Средняя длительность операции (минуты)	165	150	>0,05
Средняя длительность госпитализации (сутки)	8	9	>0,05
Образование вентральных грыж (абс., %)	1 (5,2)	8 (30,7)	0,039
Формирование сером и гематом (абс., %)	4 (21,05)	5 (19,2)	>0,05
Эвентрация (абс., %)	0 (0)	2 (7,6)	0,05

Таблица. Сравнительный анализ использования предложенного способа и традиционного закрытия раны у пациентов группы высокого риска после лапаротомной операции за 2022 год
Table. Comparative analysis of using the proposed method and standard wound closure in high-risk patients after laparotomy surgery in 2022

Метаанализ, проведенный Z. M. Borab с соавторами [24], который включил 14 исследований (2114 пациентов), из них 1152 получили профилактическое размещение сетки, показал, что профилактическое размещение сетки связано со снижением риска послеоперационной грыжи на 85 % по сравнению с первичным закрытием шва у пациентов из группы риска. В то же время, согласно этим исследованиям, метод повышает риск формирования сером и возможность повышенного риска хронической боли.

Согласно метаанализу, проведенному Chee Yee Hew и соавторами [25], включающему 5 РКИ и 487 пациентов (260 в группе сетки и 227 в группе первичного шва), пациенты, у которых было закрытие сетки, имели статистически значимо более низкие шансы развития послеоперационной грыжи после открытого восстановления аневризмы аорты, чем те, у кого было первичное закрытие шва (OR 0,20, 95 % доверительный интервал (CI) 0,09–0,43).

В долгосрочном наблюдении за профилактическим сетчатым протезированием после экстренной лапаротомии, проведенном A. Bravo-Salva и соавторами [26], в которое было включено 187 пациентов, за 64,4 месяца наблюдения у 29,9 % пациентов развилась послеоперационная грыжа (36,6 % группа контроля и 14,3 % основной группы; $p = 0,002$). Хронические сетчатые инфекции были диагностированы у 2 пациентов, но удаления сетчатых имплантов не требовались и ни у кого пациентов основной группы не развилась хроническая боль.

Систематический обзор и метаанализ, проведенный J. Ahmed [27], показал эффективность в снижении частоты послеоперационных грыж при превентивном протезировании в популяции высокого риска во все промежуток времени, но он связан с повышенным риском серомы и хронической боли в ране. Преимущества сетки в значительной степени перевешивают риск, и они связаны с положительными результатами у пациентов с высоким риском.

В работах M. Ibrahim [28] использование модифицированного сетчатого импланта показало превосходство в 200 % по сравнению со стандартными сетчатыми протезами.

Однако существует исследование С. Шмитца [29], где показана более высокая воспалительная реакция тканей на инфекцию *S. aureus* при имплантации сетки из полипропилена, чем сетки из поливинилиденфторида. Инфекции хирургического доступа являются самыми распространенными инфекциями, с которыми сталкиваются пациенты после операции. Они увеличивают общую стоимость лечения и продолжительность пребывания в стационаре [30]. Поэтому выбор материала для имплантации представляет большой интерес и требует дальнейших исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование изобретения «Способ профилактики образования послеоперационных вентральных грыж у пациентов группы высокого риска» снижает частоту образования послеоперационных грыж после полостных бариатрических вмешательств с 30,7 % в контрольной группе до 5,2 % в основной ($p = 0,039$), что показывает эффективность превентивного протезирования лапаротомных ран, в частности у пациентов с морбидным ожирением. Развитие раневых послеоперационных осложнений, в том числе сером и гематом, в сравниваемых группах статистически не значимо, что показывает безопасность применяемого метода.

Перед проведением оперативного вмешательства через срединный лапаротомный доступ необходимо провести тщательное обследование пациентов с целью выявления факторов риска развития послеоперационных вентральных грыж (морбидное ожирение, сахарный диабет, врожденная дисплазия соединительной ткани). Пациентам с морбидным ожирением и другими факторами риска рекомендовано выполнение превентивного протезирования при проведении оперативных вмешательств лапаротомным доступом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Иванов И.С., Лазаренко В.А., Иванов С.В., Сухов Г.М., Цуканов А.В., Горяинова Г.Н., и др. Нарушения структуры соединительнотканых структур передней брюшной стенки у больных с вентральными грыжами. *Новости хирургии*. 2014;22(5):533–7. DOI: 10.18484/2305-0047.2014.5.533
- 2 Ванжа Я.Е., Вертянкин С.В., Якубенко В.В., Самыгин С.А., Вертянкина Д.С. Профилактика послеоперационных вентральных грыж после срединной лапаротомии: современное состояние проблемы. *Вестник Волгоградского государственного медицинского университета*. 2021;2 (78):56–62. DOI: 10.19163/1994-9480-2021-2(78)-56-62
- 3 Каримов С.С., Шоназаров И.Ш. Профилактика осложнений в хирургии послеоперационных грыж передней брюшной стенки. *Research Focus*. 2024;3(8):48–61. DOI: 10.5281/zenodo.1335965.
- 4 Мадьяров В.М., Турсунов Р.Б., Мухаметова С.П., Кусманов М.Е. Профилактика риска развития послеоперационных вентральных грыж при открытых хирургических вмешательствах на передней брюшной стенке. *Вестник Казахского национального медицинского университета*. 2021;4:98–104. DOI: 10.53065/kaznmu.2021.89.13.019
- 5 DeAngelo N., Perez A.J. Hernia prevention: the role of technique and prophylactic mesh to prevent incisional hernias. *Surg Clin North Am*. 2023;103(5):847–57. DOI: 10.1016/j.suc.2023.04.02
- 6 Тарасова Н.К., Дынков С.М., Поздеев В.Н., Тетерин А.И., Османова Г.С. Анализ причин рецидивов послеоперационных вентральных грыж. *Хирургия (Москва)*. 2019;10:36–42. DOI: 10.17116/hirurgia201910136
- 7 Deerenberg E.B., Harlaar J.J., Steyerberg E.W., Lont H.E., van Doorn H.C., Heisterkamp J., et al. Small bites versus large bites for closure of abdominal midline incisions (STITCH): a double-blind, multi-centre, randomised controlled trial. *Lancet*. 2015;386(10000):1254–60. DOI: 10.1016/S0140-6736(15)60459-7
- 8 Endo T., Miyahara K., Shirasu T., Mochizuki Y., Taniguchi R., Takayama T., et al. Risk factors for incisional hernia after open abdominal aortic aneurysm repair. *In Vivo*. 2023;37(6):2803–7. DOI: 10.21873/invivo.13393
- 9 Галимов О.В., Ханов В.О., Вагизова Г.И. Профилактическая установка сетчатых имплантов во время лапаротомных хирургических вмешательств у пациентов с морбидным ожирением. *Терапевтический архив*. 2022;94(2 Прил.):329.
- 10 Кульченко Н.Г. Открытая герниопластика без натяжения: преимущества и недостатки. *РМЖ*. 2023;8:15–9.
- 11 Sanders D.L., Pawlak M.M., de Beaux A.C. European Hernia Society incisional hernia guidelines. *Br J Surg*. 2023;110(3):343. DOI: 10.1093/bjs/znac456
- 12 El-Khadrawy O.H., Moussa G., Mansour O., Hashish M.S. Prophylactic prosthetic reinforcement of midline abdominal incisions in high-risk patients. *Hernia*. 2009;13(3):267–74. DOI: 10.1007/s10029-009-0484-3
- 13 Сажин А.В., Лобан К.М., Ивахов Г.Б., Петухов В.А., Плаголев Н.С., Андрияшкин А.В., и др. Эндовидеохирургические ретромускулярные методы лечения больных с вентральными грыжами. *Эндоскопическая хирургия*. 2020;26(6):41–8. DOI: 10.17116/endoskop20202606141
- 14 Bittner R., Bingener-Casey J., Dietz U., Fabian M., Ferzli G.S., Fortelny R.H., et al. Guidelines for laparoscopic treatment of ventral and incisional abdominal wall hernias (International Endohernia Society (IEHS)-part 1. *Surg Endosc*. 2014;28(1):2–29. DOI: 10.1007/s00464-013-3170-6
- 15 Галимов О.В., Ханов В.О., Вагизова Г.И., Насырова К.В., Минигалин Д.М. Способ профилактики послеоперационных вентральных грыж у пациентов высокого риска: патент Российская Федерация 2833156C1 от 14.01.2025.
- 16 Кешвединова А.А., Смирнов А.В., Станкевич В.Р., Шаробаров В.И., Иванов Ю.В. Тактика лечения вентральных грыж у пациентов с морбидным ожирением. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2023;9:95–102. DOI: 10.17116/hirurgia202309195
- 17 Anwar S. The use of prosthetics in hernia repair. *Hosp Med*. 2003;64(1):34–5. DOI: 10.12968/hosp.2003.64.1.1842
- 18 Germer C.T., Dietz U.A. Narbenhernien. *Chirurgie*. 2024;95:1–2. DOI: 10.1007/s00104-023-02017-2
- 19 Soare A.M., Cârțu D., Nechita S.L., Andronic O., Șurlin V. Complications of intraperitoneal mesh techniques for incisional hernia — a systematic review. *Chirurgia (Bucur)*. 2021;116(6 Suppl):S36–42. PMID: 35274610
- 20 Mahajan N.N., da Silveira C.A.B., Kasmirski J.A., Lima D.L., Lech G.E., Moraes L.B.L., et al. Risk factors for incisional hernia after open abdominal aortic aneurysm repair: a systematic review and meta-analysis. *Hernia*. 2024;28(6):2137–44. DOI: 10.1007/s10029-024-03182-x
- 21 Reyes-Sánchez A., Valenzuela-González J., Valle-Valdez M.A., García-Ramos C. Incisional hernia, a rare complication of the anterolateral transpos approach. *Acta Ortop Mex*. 2020;34(2):134–8. PMID: 33244916
- 22 Berrios-Torres S.I., Umscheid C.A., Bratzler D.W., Leas B., Stone E.C., Kelz R.R., et al. Centers for disease control and prevention guideline for the prevention of surgical site infection, 2017. *JAMA Surg*. 2017;152(8):784–91. DOI: 10.1001/jamasurg.2017.0904. Erratum in: *JAMA Surg*. 2017;152(8):803. DOI: 10.1001/jamasurg.2017.1943
- 23 Le Ruyet A., Pillet B., Végleur A., Jourdan A., Bel-Brunon A., Bouré L., et al. Impact of a prophylactic mesh on the biomechanics of abdominal wall closure: an animal study. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2025;168:107014. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2025.107014
- 24 Borab Z.M., Shakir S., Lanni M.A., Tecce M.G., MacDonald J., Hope W.W., et al. Does prophylactic mesh placement in elective, midline laparotomy reduce the incidence of incisional hernia? A systematic review and meta-analysis. *Surgery*. 2017;161(4):1149–63. DOI: 10.1016/j.surg.2016.09.036
- 25 Hew C.Y., Rais T., Antoniou S.A., Deerenberg E.B., Antoniou G.A. Prophylactic mesh reinforcement versus primary suture for abdominal wall closure after elective abdominal aortic aneurysm repair with midline laparotomy incision: updated systematic review including time-to-event meta-analysis and trial sequential analysis of randomized controlled trials. *Ann Vasc Surg*. 2024;109:149–61. DOI: 10.1016/j.avsg.2024.06.026
- 26 Bravo-Salva A., Argudo-Aguirre N., González-Castillo A.M., Membrilla-Fernandez E., Sancho-Insenser J.J., Grande-Posa L., et al. Long-term follow-up of prophylactic mesh reinforcement after emergency laparotomy. A retrospective controlled study. *BMC Surg*. 2021;21(1):243. DOI: 10.1186/s12893-021-01243-x
- 27 Ahmed J., Hasnain N., Fatima I., Malik F., Chaudhary M.A., Ahmad J., et al. Prophylactic mesh placement for the prevention of incisional hernia in high-risk patients after abdominal surgery: a systematic review and meta-analysis. *Cureus*. 2020;12(9):e10491. DOI: 10.7759/cureus.10491
- 28 Ibrahim M.M., Poveromo L.P., Glisson R.R., Cornejo A., Farjat A.E., Gall K., et al. Modifying hernia mesh design to improve device mechanical performance and promote tension-free repair. *J Biomech*. 2018;71:43–51. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2018.01.022
- 29 Schmitz S.M., Helmedag M.J., Kroh A., Heise D., Klinge U., Lambert A., et al. Choice of polymer, but not mesh structure variation, reduces the risk of bacterial infection with staphylococcus aureus in vivo. *Biomedicine*. 2023;11(7):2083. DOI: 10.3390/biomedicines11072083
- 30 Borchart R.A., Tzizik D. Update on surgical site infections: The new CDC guidelines. *J Am Acad Phys Assist*. 2018;31(4):52–4. DOI: 10.1097/01.JAA.0000531052.82007.42

REFERENCES

- 1 Ivanov I.S., Lazarenko V.A., Ivanov S.V., Sukhov G.M., Tcukanov A.V., Goryanova G.N., et al. Disorders of the connective tissue composition structure of the anterior abdominal wall in patients with ventral hernia. *Novosti Khirurgii*. 2014;22(5):533–7 (In Russ.). DOI: 10.18484/2305-0047.2014.5.533
- 2 Vanzha Ya.E., Vertyankin S.V., Yakubenko V.V., Samygin S.A., Vertyankina D.S. Prevention of incisional ventral hernias after midline laparotomy: current state of the art. *Journal of Volgograd State Medical University*. 2021;2(78):56–62 (In Russ.). DOI: 10.19163/1994-9480-2021-2(78)-56-62
- 3 Karimov S.S., Shonazarov I.Sh. Prevention of complications of incisional hernia repair. *Research Focus*. 2024;3(8):48–61 (In Russ.). DOI: 10.5281/zenodo.1335965
- 4 Madyarov V.M., Tursunov R.B., Mukhametova S.P., Kusmanov M.E. Prevention of the risk of postoperative ventral hernias with open surgical interventions on the anterior abdominal wall. *Vestnik KazNMU*. 2021;4(98–104 (In Russ.)). DOI: 10.53065/kaznmu.2021.89.13.019
- 5 DeAngelo N., Perez A.J. Hernia prevention: the role of technique and prophylactic mesh to prevent incisional hernias. *Surg Clin North Am*. 2023;103(5):847–57. DOI: 10.1016/j.suc.2023.04.02
- 6 Tarasova N.K., Dynkov S.M., Pozdееv V.N., Teterin A.Yu., Osmanova G.Sh. Analysis of the causes of recurrent postoperative ventral hernias. *Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2019;10:36–42 (In Russ.). DOI: 10.17116/hirurgia201910136
- 7 Deerenberg E.B., Harlaar J.J., Steyerberg E.W., Lont H.E., van Doorn H.C., Heisterkamp J., et al. Small bites versus large bites for closure of abdominal midline incisions (STITCH): a double-blind,

- multicentre, randomised controlled trial. *Lancet*. 2015;386(10000):1254–60. DOI: 10.1016/S0140-6736(15)60459-7
- 8 Endo T, Miyahara K, Shirasu T, Mochizuki Y, Taniguchi R, Takayama T, et al. Risk factors for incisional hernia after open abdominal aortic aneurysm repair. *In Vivo*. 2023;37(6):2803–7. DOI: 10.21873/invivo.13393
 - 9 Galimov O.V., Khanov V.O., Vagizova G.I. Prophylactic placement of mesh implants during laparotomy surgery in patients with morbid obesity. *Therapeutic Archive*. 2022;94(2S):329 (In Russ.).
 - 10 Kulchenko N.G. Open tension-free hernioplasty: advantages and disadvantages. *RMJ*. 2023;8:15–9 (In Russ.).
 - 11 Sanders D.L., Pawlak M.M., de Beaux A.C. European Hernia Society incisional hernia guidelines. *Br J Surg*. 2023;110(3):343. DOI: 10.1093/bjs/znac456
 - 12 El-Khadrawy O.H., Moussa G., Mansour O., Hashish M.S. Prophylactic prosthetic reinforcement of midline abdominal incisions in high-risk patients. *Hernia*. 2009;13(3):267–74. DOI: 10.1007/s10029-009-0484-3
 - 13 Sazhin A.V., Loban K.M., Ivakhov G.B., Petukhov V.A., Glagolev N.S., Andriyashkin A.V., et al. Endovideosurgical retromuscular methods for ventral hernia repair surgery. *Endoscopic Surgery*. 2020;26(6):41–8 (In Russ.). DOI: 10.17116/endoskop20202606141
 - 14 Bittner R., Bingener-Casey J., Dietz U., Fabian M., Ferzli G.S., Fortelny R.H., et al. Guidelines for laparoscopic treatment of ventral and incisional abdominal wall hernias (International Endohernia Society (IEHS)-part 1. *Surg Endosc*. 2014;28(1):2–29. DOI: 10.1007/s00464-013-3170-6
 - 15 Galimov O.V., Khanov V.O., Vagizova G.I., Nasyrova K.V., Minigalin D.M. Method for preventing formation of postoperative ventral hernias in high-risk patients: Russian Federation patent 2833156C1. 2025 Jan 14 (In Russ.).
 - 16 Keshvedinova A.A., Smirnov A.V., Stankevich V.R., Sharobaro V.L., Ivanov Yu.V. Treatment of ventral hernias in patients with morbid obesity. *Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2023;9:95–102 (In Russ.). DOI: 10.17116/hirurgia202309195
 - 17 Anwar S. The use of prosthetics in hernia repair. *Hosp Med*. 2003;64(1):34–5. DOI: 10.12968/hosp.2003.64.1.1842
 - 18 Germer C.T., Dietz U.A. Narbenhernien. *Chirurgie*. 2024;95:1–2. DOI: 10.1007/s00104-023-02017-2
 - 19 Soare A.M., Cârțu D., Nechita S.L., Andronic O., Șurlin V. Complications of intraperitoneal mesh techniques for incisional hernia — a systematic review. *Chirurgia (Bucur)*. 2021;116(6 Suppl):S36–42. PMID: 35274610
 - 20 Mahajan N.N., da Silveira C.A.B., Kasmirski J.A., Lima D.L., Lech G.E., Moraes L.B.L., et al. Risk factors for incisional hernia after open abdominal aortic aneurysm repair: a systematic review and meta-analysis. *Hernia*. 2024;28(6):2137–44. DOI: 10.1007/s10029-024-03182-x
 - 21 Reyes-Sánchez A., Valenzuela-González J., Valle-Valdez M.A., García-Ramos C. Incisional hernia, a rare complication of the anterolateral transpoas approach. *Acta Ortop Mex*. 2020;34(2):134–8. PMID: 33244916
 - 22 Berríos-Torres S.I., Umscheid C.A., Bratzler D.W., Leas B., Stone E.C., Kelz R.R., et al. Centers for disease control and prevention guideline for the prevention of surgical site infection, 2017. *JAMA Surg*. 2017;152(8):784–91. DOI: 10.1001/jamasurg.2017.0904. Erratum in: *JAMA Surg*. 2017;152(8):803. DOI: 10.1001/jamasurg.2017.1943
 - 23 Le Ruyet A., Pillet B., Végieur A., Jourdan A., Bel-Brunon A., Bouré L., et al. Impact of a prophylactic mesh on the biomechanics of abdominal wall closure: an animal study. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2025;168:107014. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2025.107014
 - 24 Borab Z.M., Shakir S., Lanni M.A., Tecce M.G., MacDonald J., Hope W.W., et al. Does prophylactic mesh placement in elective, midline laparotomy reduce the incidence of incisional hernia? A systematic review and meta-analysis. *Surgery*. 2017;161(4):1149–63. DOI: 10.1016/j.surg.2016.09.036
 - 25 Hew C.Y., Rais T., Antoniou S.A., Deerenberg E.B., Antoniou G.A. Prophylactic mesh reinforcement versus primary suture for abdominal wall closure after elective abdominal aortic aneurysm repair with midline laparotomy incision: updated systematic review including time-to-event meta-analysis and trial sequential analysis of randomized controlled trials. *Ann Vasc Surg*. 2024;109:149–61. DOI: 10.1016/j.avsg.2024.06.026
 - 26 Bravo-Salva A., Argudo-Aguirre N., González-Castillo A.M., Membrilla-Fernandez E., Sancho-Insenser J.J., Grande-Posa L., et al. Long-term follow-up of prophylactic mesh reinforcement after emergency laparotomy. A retrospective controlled study. *BMC Surg*. 2021;21(1):243. DOI: 10.1186/s12893-021-01243-x
 - 27 Ahmed J., Hasnain N., Fatima I., Malik F., Chaudhary M.A., Ahmad J., et al. Prophylactic mesh placement for the prevention of incisional hernia in high-risk patients after abdominal surgery: a systematic review and meta-analysis. *Cureus*. 2020;12(9):e10491. DOI: 10.7759/cureus.10491
 - 28 Ibrahim M.M., Poveromo L.P., Glisson R.R., Cornejo A., Farjat A.E., Gall K., et al. Modifying hernia mesh design to improve device mechanical performance and promote tension-free repair. *J Biomech*. 2018;71:43–51. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2018.01.022
 - 29 Schmitz S.M., Helmedag M.J., Kroh A., Heise D., Klinge U., Lambert A., et al. Choice of polymer, but not mesh structure variation, reduces the risk of bacterial infection with staphylococcus aureus in vivo. *Biomedicine*. 2023;11(7):2083. DOI: 10.3390/biomedicine11072083
 - 30 Borchardt R.A., Tzizik D. Update on surgical site infections: The new CDC guidelines. *J Am Acad Phys Assist*. 2018;31(4):52–4. DOI: 10.1097/01.JAA.0000531052.82007.42
- © Галимов О.В., Вагизова Г.И., Ханов В.О., Ибрагимов Т.Р., Сафаргалина А.Г., 2025
 © Galimov O.V., Vagizova G.I., Khanov V.O., Ibragimov T.R., Safargalina A.G., 2025

<https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-329-337>

Результаты трансартериальной химиоэмболизации при лечении первичного и метастатического рака печени: клиническая оценка

И.И. Солодов, Ю.С. Шатова, А.Ю. Максимов, Е.Н. Колесников, А.П. Меньшенина, Н.Д. Ушакова, Н.В. Солдаткина, А.В. Снежко, Г.Ю. Егоров, А.В. Галина*, С.В. Гурова, Д.В. Ходакова

Национальный медицинский исследовательский центр онкологии, Россия, Ростов-на-Дону

* **Контакты:** Галина Анастасия Владимировна, e-mail: volkovaav58@mail.ru

Солодов Иван Игоревич — аспирант, отделение рентгенохирургических методов диагностики и лечения, orcid.org/0009-0002-9220-1645

Шатова Юлиана Сергеевна — д.м.н., доцент, отдел опухолей мягких тканей и костей, orcid.org/0000-0002-1748-9186

Максимов Алексей Юрьевич — д.м.н., профессор, orcid.org/0000-0002-1397-837X

Колесников Евгений Николаевич — д.м.н., доцент, отделение абдоминальной онкологии № 1, orcid.org/0000-0001-9749-709X

Меньшенина Анна Петровна — д.м.н., доцент, ведущий научный сотрудник, отдел опухолей репродуктивной системы, orcid.org/0000-0002-7968-5078

Ушакова Наталья Дмитриевна — д.м.н., профессор, отделение анестезиологии-реанимации с палатой реанимации и интенсивной терапии, orcid.org/0000-0002-0068-0881

Солдаткина Наталья Васильевна — д.м.н., доцент, отделение абдоминальной онкологии № 2, orcid.org/0000-0002-0118-4935

Снежко Александр Владимирович — д.м.н., отделение абдоминальной онкологии №1 с группой рентгенэндоваскулярных методов диагностики и лечения, orcid.org/0000-0003-3998-8004

Егоров Георгий Юрьевич — к.м.н., отделение рентгенохирургических методов диагностики и лечения, orcid.org/0000-0002-1413-6406

Галина Анастасия Владимировна — младший научный сотрудник, испытательный лабораторный центр, orcid.org/0000-0001-7823-3865

Гурова Софья Валерьевна — младший научный сотрудник, испытательный лабораторный центр, orcid.org/0000-0002-9747-8515

Ходакова Дарья Владиславовна — научный сотрудник, испытательный лабораторный центр, orcid.org/0000-0003-3753-4463

Аннотация

Введение. Гепатоцеллюлярная карцинома занимает третье место среди причин смертности от рака в мире с крайне низкой пятилетней выживаемостью (20,3 %), а метастазы колоректального рака в печень составляют значительные 10–20 % всех вторичных опухолей. Трансартериальная химиоэмболизация (ТАХЭ) является стандартным методом локального паллиативного лечения, однако после процедуры формируется устойчивая гипоксическая среда, способствующая агрессивным рецидивам и дальнейшему прогрессированию заболевания. Цель исследования: оценить клиническую эффективность и безопасность ТАХЭ у пациентов с первичным и метастатическим раком печени. **Материал и методы.** Проведен ретроспективный анализ 333 пациентов (181 мужчина, 152 женщины) в возрасте от 19 до 83 лет (средний возраст $60,1 \pm 0,55$ года), пролеченных в ФГБУ «НМИЦ онкологии» МЗ РФ. У 93 пациентов была диагностирована гепатоцеллюлярная карцинома (МКБ-10 C22.0), у 240 — метастазы колоректального рака в печень (МКБ-10 C78.7). Всем выполнена процедура ТАХЭ. Двухлетнюю выживаемость анализировали с помощью таблиц дожития, метода Каплана — Мейера и регрессионного анализа Кокса для изучения факторов риска. Статистический анализ выполнен в программе Statistica 10. **Результаты и обсуждение.** За два года наблюдения умерли 61,9 % пациентов, общая выживаемость составила 38,1 %. Наибольший риск смерти отмечался в первые два месяца после ТАХЭ, оставаясь высоким до восьмого месяца. Анализ по Каплану — Мейеру показал значительное снижение выживаемости после пяти месяцев. Факторами риска были стадия заболевания, морфология опухоли и пол пациента: метастатическое поражение и мужской пол ассоциировались с более низкой выживаемостью. **Заключение.** Общая выживаемость после ТАХЭ остается низкой, особенно в первые месяцы. Выявленные факторы риска позволяют точнее определять группы высокого риска для оптимизации комплексной терапии и разработки более эффективных стратегий лечения.

Ключевые слова: рак печени, трансартериальная химиоэмболизация, колоректальный рак, гипоксия, микроокружение опухоли, новообразований метастазы, гепатоцеллюлярная карцинома

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Данная работа не финансировалась.

Вклад авторов. Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Для цитирования: Солодов И.И., Шатова Ю.С., Максимов А.Ю., Колесников Е.Н., Меньшенина А.П., Ушакова Н.Д., Солдаткина Н.В., Снежко А.В., Егоров Г.Ю., Галина А.В., Гурова С.В., Ходакова Д.В. Результаты трансартериальной химиоэмболизации при лечении первичного и метастатического рака печени: клиническая оценка. Креативная хирургия и онкология. 2025;15(4):329–337. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-329-337>

Поступила в редакцию: 28.07.2025

Поступила после рецензирования и доработки: 10.09.2025

Принята к публикации: 19.09.2025

Results of Transarterial Chemoembolization in Treatment of Primary and Metastatic Liver Cancer: Clinical Assessment

Ivan I. Solodov, Iuliana S. Shatova, Alexey Yu. Maksimov, Evgeniy N. Kolesnikov, Anna P. Menshenina, Nataliya D. Ushakova, Natalia V. Soldatkina, Aleksandr V. Snezhko, Georgii Yu. Egorov, Anastasiya V. Galina*, Sophia V. Gurova, Darya V. Khodakova

National Medical Research Centre for Oncology, Rostov-on-Don, Russian Federation

*Correspondence to: Anastasiya V. Galina, e-mail: volkovaav58@mail.ru

Ivan I. Solodov — Post-graduate Student, Unit of X-ray Surgery in Diagnosis and Treatment, orcid.org/0009-0002-9220-1645

Iuliana S. Shatova — Dr. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Unit of Soft Tissue and Bone Tumors, orcid.org/0000-0002-1748-9186

Alexey Yu. Maksimov — Dr. Sci. (Med.), Prof., orcid.org/0000-0002-1397-837X

Evgeniy N. Kolesnikov — Dr. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Abdominal Oncology Unit No. 1, orcid.org/0000-0001-9749-709X

Anna P. Menshenina — Dr. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Leading Researcher, Unit of Reproductive System Tumors, orcid.org/0000-0002-7968-5078

Nataliya D. Ushakova — Dr. Sci. (Med.), Prof., Unit of Anesthesiology, Resuscitation and Intensive Care, orcid.org/0000-0002-0068-0881

Natalia V. Soldatkina — Dr. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Abdominal Oncology Unit No. 2, orcid.org/0000-0002-0118-4935

Aleksandr V. Snezhko — Dr. Sci. (Med.), Abdominal Oncology Unit with a Group of X-ray Endovascular Methods in Diagnosis and Treatment, orcid.org/0000-0003-3998-8004

Georgii Yu. Egorov — Cand. Sci. (Med.), Unit of X-ray Surgery in Diagnosis and Treatment, orcid.org/0000-0002-1413-6406

Anastasiya V. Galina — Junior Researcher, Testing Laboratory Center, orcid.org/0000-0001-7823-3865

Sophia V. Gurova — Junior Researcher, Testing Laboratory Center, orcid.org/0000-0002-9747-8515

Darya V. Khodakova — Researcher, Testing Laboratory Center, orcid.org/0000-0003-3753-4463

Abstract

Introduction. Hepatocellular carcinoma is the third leading cause of cancer death worldwide with an extremely low five-year survival rate (20.3%) and colorectal cancer liver metastases accounting for significant 10–20% of all secondary tumors. Transarterial chemoembolization (TACE) represents a standard method of local palliative treatment; however, after the procedure, a stable hypoxic environment is formed contributing to aggressive relapses and further progression of the disease. The present study aims to assess the clinical efficacy and safety of TACE in patients with primary and metastatic liver cancer. **Materials and methods.** A retrospective analysis is conducted for 333 patients (181 men, 152 women) aged 19 to 83 years (mean age of 60.1 ± 0.55 years) treated at the National Medical Research Center for Oncology (Rostov-on-Don, Russian Federation). A total of 93 patients are diagnosed with hepatocellular carcinoma (ICD-10 C22.0); 240 have colorectal cancer metastases to the liver (ICD-10 C78.7). All underwent the TACE procedure. Two-year survival is analyzed using life tables, Kaplan-Meier method and Cox regression analysis to examine risk factors. Statistical analysis is performed using the Statistica 10 software. **Results and discussion.** During two years of observation, 61.9% of patients died; the overall survival rate is 38.1%. The highest risk of death was observed in the first two months after TACE, remaining high until the eighth month. A Kaplan-Meier analysis shows a significant reduction in survival after five months. Risk factors include disease stage, tumor morphology and patient gender: metastatic disease and male gender were associated with lower survival. **Conclusion.** Overall survival after TACE remains low, especially in the first months. The identified risk factors can be used for more accurate identification of high-risk groups to optimize combined therapy and develop more effective treatment strategies.

Keywords: liver cancer, transarterial chemoembolization, colorectal cancer, hypoxia, tumor microenvironment, neoplasm metastases, hepatocellular carcinoma

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

Sponsorship data. This work is not funded.

Author contributions. The authors contributed equally to this article.

For citation: Solodov I.I., Shatova Yu.S., Maksimov A.Yu., Kolesnikov E.N., Menshenina A.P., Ushakova N.D., Soldatkina N.V., Snezhko A.V., Egorov G.Yu., Galina A.V., Gurova S.V., Khodakova D.V. Results of transarterial chemoembolization in treatment of primary and metastatic liver cancer: Clinical assessment. *Creative Surgery and Oncology*. 2025;15(4):329–337. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-329-337>

Received: 28.07.2025

Revised: 10.09.2025

Accepted: 19.09.2025

ВВЕДЕНИЕ

Гепатоцеллюлярная карцинома (ГЦК) занимает третье место по частоте причин смерти от рака в мире и характеризуется низким показателем 5-летней выживаемости, составляющим всего 20,3%. Основными этиологическими факторами развития ГЦК являются хронические инфекции гепатитов В и С, которые способствуют развитию цирроза и злокачественных опухолей печени. Одной из характерных рентгенологических особенностей ГЦК является богатое кровоснабжение из ветвей печеночной артерии, что позволяет использовать ангиографические методы для диагностики и лечения данной опухоли. В частности, визуализация данных ветвей играет важную роль при планировании интервенционных процедур [1].

Параллельно с этим колоректальный рак (КРР) остается одной из ведущих причин заболеваемости и смертности в мире. Он занимает третье место по распространенности среди всех видов рака у мужчин и второе — у женщин, при этом уровень смертности значительно ниже, чем у ГЦК. Печень является наиболее частым органом метастазирования КРР вследствие гематогенного распространения через портальную венозную систему, составляя до 10–20% от их общего числа. Современные методы визуализации, такие как компьютерная томография и магнитно-резонансная томография, широко применяются для оценки характера поражений печени, дифференциации первичных опухолей и метастазов, а также для определения оптимальной тактики лечения [2].

Множественные первичные опухоли (МПО), определяемые как наличие более одного рака различных локализаций с разной гистологией, встречаются достаточно часто — их частота варьирует от 2,4 до 17% [3]. Среди них особое значение имеет рак толстой кишки, который составляет около 19,8% случаев МПО [3]. Несмотря на высокий уровень локализованного заболевания с пятилетней выживаемостью до 80%, при наличии отдаленных метастазов прогноз значительно ухудшается: выживаемость снижается до 14% [4].

Одним из современных методов лечения опухолей печени является трансартериальная химиоэмболизация (ТАХЭ). Данный подход терапии основан на блокировании кровоснабжения опухоли через печеночную артерию, что вызывает ишемию и некроз опухолевых клеток за счет лишения их кислорода и питательных веществ. Однако после проведения ТАХЭ в опухолевой ткани формируется гипоксическая среда, которая может стимулировать процессы ангиогенеза, а также привлекать иммуносупрессивные клетки, что способствует развитию рецидивов и прогрессированию заболевания [5]. Эти особенности подчеркивают необходимость дальнейших исследований в области оптимизации методов лечения рака печени и понимания механизмов его рецидивирования после интервенционных процедур [6].

Цель исследования — оценить клиническую эффективность и безопасность трансартериальной химиоэмболизации у пациентов с первичным и метастатическим раком печени, а также провести анализ результатов ле-

чения для определения ее роли в комплексной терапии данного заболевания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Был проведен ретроспективный сравнительный анализ историй болезни 333 пациентов за двухлетний период. У 93 из них диагностирована гепатоцеллюлярная карцинома (МКБ-10 C22.0), у 240 — метастатический очаг колоректального рака в печени (МКБ-10 C78.7), все проходили лечение в ФГБУ «НМИЦ онкологии» МЗ РФ г. Ростова-на-Дону. Число мужчин составило 181, женщин — 152. Возраст пациентов варьировал от 19 до 83 лет, средний возраст — $60,1 \pm 0,55$ года. Всем пациентам выполнена ТАХЭ. Более подробная клиническая характеристика пациентов представлена в таблице 1.

Клиническую эффективность проведения трансартериальной химиоэмболизации оценивали по динамике кумулятивной выживаемости за двухлетний период после хирургического вмешательства. Общую выживаемость анализировали по методу таблиц времен жизни и по Каплану — Мейеру. Оценку известных факторов риска на общую выживаемость проводили по регрессивному анализу Кокса.

Для статистического анализа результатов исследования использовалась программа Statistica 10 (StatSoft Inc., США), данные представлены в виде среднего \pm ошибка среднего.

РЕЗУЛЬТАТЫ

За наблюдаемый период из 333 больных 206 (61,9%) умерли, а 127 живы (38,1%). Выживаемость за 24 месяца наблюдения по методу таблиц времен жизни отражала динамику долей выживших и темпы смертности среди пациентов спустя определенное время после

Стадии заболевания	Общее число пациентов (n = 333)	
	Гепатоцеллюлярная карцинома (n = 93)	Метастатический очаг колоректального рака в печени (n = 240)
II стадия	n = 8 (8,6%)	n = 37 (15,4%)
III стадия	n = 64 (68,8%)	n = 61 (25,4%)
IV стадия	n = 21 (22,6%)	n = 142 (59,2%)
Число пациентов в зависимости от размера опухоли		
T2	n = 13 (14%)	n = 9 (3,8%)
T3	n = 80 (86%)	n = 152 (63,3%)
T4	-	n = 79 (32,9%)
Число пациентов с поражением в регионарных лимфатических узлах		
Не выявлены	n = 64 (68,8%)	n = 183 (76,2%)
Выявлены	n = 29 (31,2%)	n = 57 (23,8%)
Число пациентов с обнаруженными метастазами в отдаленные органы		
Не выявлены	n = 72 (77,4%)	n = 0 (0%)
Выявлены	n = 21 (22,6%)	n = 240 (100%)
Число пациентов с проведенной таргетной терапией		
	n = 81 (87,1%)	n = 82 (34,2%)

Таблица 1. Распределение пациентов по клиническим параметрам
Table 1. Distribution of patients by clinical parameters

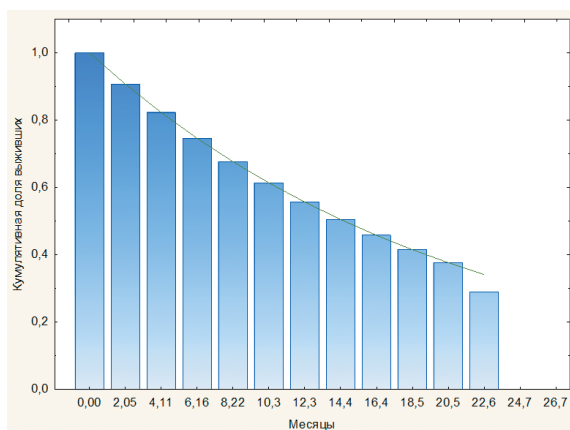


Рисунок 1. Гистограмма динамики общей выживаемости пациентов по методу таблиц времен жизни. Линией иллюстрирована экспоненциальная функция, отражающая динамику выживаемости
Figure 1. Dynamics of overall survival using the life table method. The line illustrates an exponential function reflecting the dynamics of survival

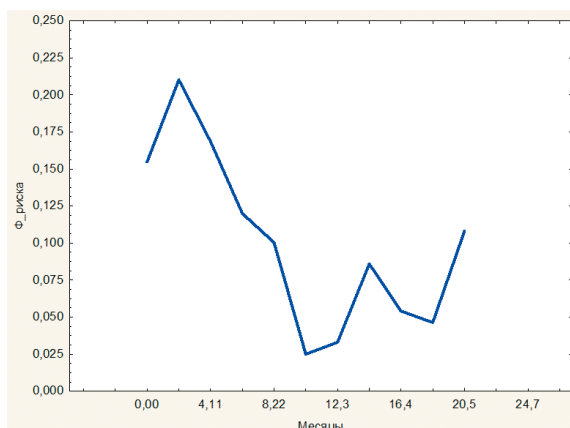


Рисунок 2. Динамика риска смерти пациентов по методу таблиц времен жизни за двухлетний период наблюдения
Figure 2. Death risk dynamics of patients using the life table method over a two-year observation period

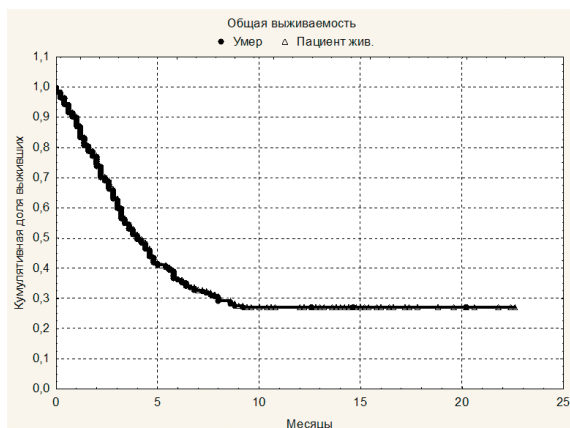


Рисунок 3. Кривая кумулятивной общей выживаемости пациентов по методу Каплана — Мейера
Figure 3. Cumulative overall survival curve of patients according to the Kaplan-Meier method

ТАХЭ. При этом на каждом интервале учитывалось постоянное изменение общего числа больных из-за их выбывания по причине смерти. Поэтому доля выживших больных на последнем интервале соответствовала 29,1% с учетом, что к 22-му месяцу после ТАХЭ часть пациентов умерла. Кривая, моделирующая динамику выживаемости, подчинялась экспоненциальной функции с высоким градиентом снижения выживаемости по мере наблюдения (рис. 1). Это свидетельствует о жизнеугрожающей ситуации у больных ввиду нозологии и требует усовершенствования методов лечения для сохранения жизни больных. Экспоненциальный характер динамики выживших за два года наблюдения с резким градиентом снижения не подразумевает, что оптимизация методов лечения приведет к революционным изменениям динамики, но такая ситуация требует разработки коррекционных лечебных мероприятий для улучшения результатов лечения.

На рисунке 2 представлена динамика риска смерти больных с первичным и метастатическим поражением печени за 24 месяца после трансартериальной химиоэмболизации. Риск смерти был самым высоким через 2 месяца после ТАХЭ, затем снижался, оставаясь на высоком уровне до 8-го месяца послеоперационного периода. Самые низкие величины риска смерти приходились на 10-й месяц после ТАХЭ, но затем на 14-й и 20-й месяцы риск смерти вновь возрастал. Таким образом, самым высоким риск смерти больных был в первые месяцы после ТАХЭ, что требует усовершенствования и повышения эффективности, прежде всего тактики хирургического вмешательства и ведения послеоперационного периода.

При использовании таблиц времен жизни наблюдаемый отрезок разбивался на 12 интервалов, что вносило в анализ динамики дискретный характер. Преимущество метода Каплана — Мейера, который используется на следующем этапе, состояло в том, что оценка выживаемости и смертности пациентов не зависела от деления периода на интервалы. На рисунке 3 представлена кривая, отражающая динамику кумулятивной общей выживаемости пациентов с гепатоцеллюлярной карциномой и метастатическим поражением печени при колоректальном раке по методу Каплана — Мейера.

Большая часть больных умерла в течение первых пяти месяцев после ТАХЭ. За этот отрезок кумулятивная выживаемость больных снизилась с 1,0 до 0,4. Затем градиент снижения выживаемости замедлился и к 10-му месяцу установился на величине 0,29. Следовательно, для пациентов, которые остались живы через 2 года после ТАХЭ, вероятность последующего выживания составила 0,29.

В таблице 2 отражены основные показатели кумулятивной выживаемости больных. Число умерших за первые четыре месяца после ТАХЭ было наибольшим. Если пациенты прожили первые четыре месяца после ТАХЭ, то медиана дожития была 4 месяца, если 8 месяцев, то — 16 месяцев. Для пациентов, оставшихся живыми к началу 24-го месяца после ТАХЭ, медиана дожития составляла 2 месяца.

Регрессионный анализ Кокса позволил оценить влияние известных факторов риска на общую выживаемость больных. В качестве факторов, определяющих общую выживаемость, выступали стадия онкологического заболевания ($p = 0,034$), первичный либо метастатический характер опухолевого поражения печени ($p = 0,005$), пол ($p = 0,017$) и включение таргетной терапии в комплекс лечебных мероприятий ($p = 0,044$) (табл. 2). β -стандартизированный показатель регрессии, отражающий силу влияния на общую выживаемость, имел высокую величину для стадии онкологического заболевания ($\beta = 0,206 \pm 0,005$), первичного либо метастатического характера опухолевого поражения печени ($\beta = 0,274 \pm 0,013$), пола ($\beta = 0,195 \pm 0,008$) и наличия таргетной терапии в комплексе лечебных мер ($\beta = -0,253 \pm 0,018$) (табл. 3).

При анализе влияния различных факторов (диагноз, пол, возраст, стадия заболевания, статус по TNM, наличие таргетной терапии) на показатели выживаемости после выполненного ТАХЭ нами были получены следующие данные. Метастатическое поражение печени при колоректальном раке по сравнению с первичным поражением при гепатоцеллюлярной карциноме повышало риск смерти в 1,67 раза (доверительный интервал (ДИ)

1,21–1,95). У мужчин риск смерти по сравнению с женщинами был выше в 1,42 раза (ДИ 1,16–1,80). При III–IV стадиях онкологического заболевания по сравнению со II стадией риск умереть после вмешательства был выше в 1,51 раза (ДИ 1,34–0,87). Наличие таргетной терапии в анамнезе снижало риск смерти на 38% (ДИ 14–43%) (табл. 3). Статус по TNM₁ был оценен при первичной постановке онкологического диагноза, а ТАХЭ проводилась в отсроченном периоде от начальной оценки TNM (при наличии метастатического поражения печени при колоректальном раке и при определенных размерах опухолевого поражения печени при гепатоцеллюлярной карциноме). Данное обстоятельство и привело к снижению выраженности влияния статуса отдельно по категориям T, N, M на общую выживаемость при двухгодичном наблюдении за больными после лечебной процедуры.

У пациентов различие выживаемости в зависимости от стадии онкологического заболевания начало формироваться через 5 месяцев после ТАХЭ и на 9-м месяце послеоперационного периода сформировалось устойчиво (рис. 4).

Так, у пациентов со II стадией онкологического заболевания с 9-го месяца после ТАХЭ общая выживаемость

№	Начало интервала	Кумулятивная доля выживших пациентов	Стандартная ошибка кумулятивной выживаемости	Число умерших пациентов	Медиана дожития
1	0,00	1,00	-	-	-
2	2,05	0,79	0,02	73	4,05
3	4,11	0,59	0,03	69	4,03
4	6,16	0,49	0,03	32	13,15
5	8,22	0,32	0,03	21	16,07
6	10,27	0,31	0,03	7	14,38
7	12,33	0,29	0,03	1	12,33
8	14,38	0,29	0,03	1	10,27
9	16,44	0,29	0,03	1	8,22
10	18,49	0,29	0,03	0	6,16
11	20,55	0,29	0,04	0	4,11
12	22,60	0,29	0,06	1	2,05

Таблица 2. Показатели кумулятивной общей выживаемости больных за два года после ТАХЭ
Table 2. Cumulative overall survival rates of patients at two years after TACE

Параметр	β -стандарт. показатель	Ошибка β	Статистика Вальда	p	ОШ	ДИ ОШ
МКБ-10	0,274	0,013	3,726	0,005	1,67	1,21–1,95
Пол	0,195	0,008	0,241	0,017	1,42	1,16–1,80
Возраст	0,002	0,007	0,116	0,732	1,02	0,87–1,13
Стадия	0,206	0,005	2,884	0,034	1,51	1,34–1,87
T	0,095	0,087	1,472	0,297	1,18	0,93–1,29
N	0,109	0,057	0,982	0,086	1,11	0,84–1,20
M	0,174	0,043	1,816	0,093	1,25	1,06–1,49
Таргетная терапия	0,253	0,018	2,313	0,044	0,62	0,37–0,86

Таблица 3. Параметры регрессионного анализа влияния факторов на общую выживаемость пациентов
Table 3. Effects of factors on patients' overall survival: parameters of regression analysis

Примечание: ОШ — отношение шансов, ДИ — доверительный интервал.
Note: OR — odds ratio, CI — confidence interval.

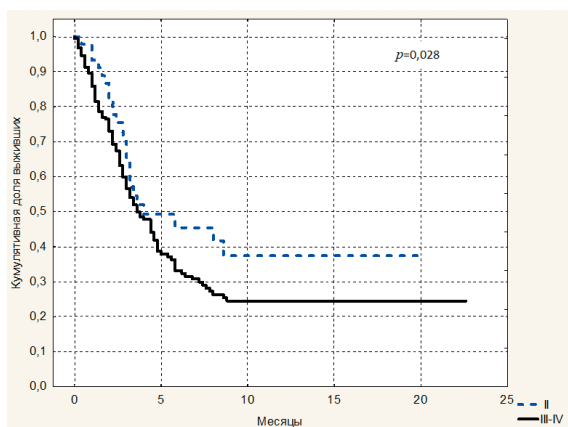


Рисунок 4. Кривые кумулятивной общей выживаемости пациентов с учетом стадии онкологического заболевания
Figure 4. Cumulative overall survival curves of patients by stage of cancer

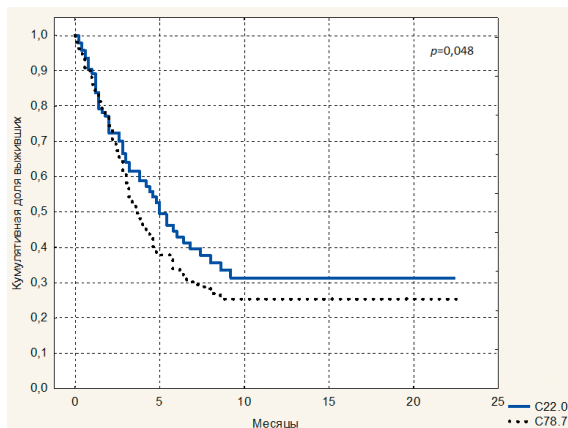


Рисунок 5. Кривые кумулятивной общей выживаемости пациентов с гепатоцеллюлярной карциномой (МКБ-10 C22.0) и метастатическим поражением печени при колоректальном раке (МКБ-10 C78.7)
Figure 5. Cumulative overall survival curves for patients with hepatocellular carcinoma (ICD-10 C22.0) and metastatic liver disease from colorectal cancer (ICD-10 C78.7)

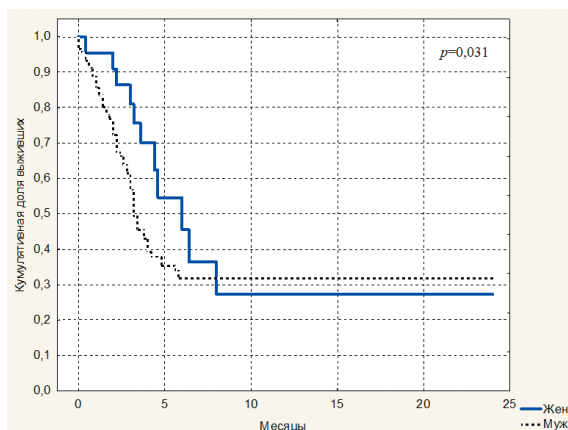


Рисунок 6. Кривые кумулятивной общей выживаемости пациентов с учетом пола
Figure 6. Cumulative overall survival curves of patients by gender

составила 0,38, а у больных с III–IV стадиями — 0,24 (рис. 4). Различие динамики кумулятивной общей выживаемости было статистически значимым ($p = 0,028$). У пациентов с метастатическим поражением печени выживаемость была ниже по сравнению с первичным опухолевым поражением при гепатоцеллюлярной карциноме ($p = 0,048$). Различие кумулятивной выживаемости в зависимости от первичности или метастатического поражения печени формировалось с 4-го месяца после ТАХЭ и устанавливалось на стабильном уровне к 10-му месяцу после ТАХЭ (рис. 5).

У пациентов с гепатоцеллюлярной карциномой с 10-го месяца после ТАХЭ общая выживаемость составила 0,32, а у больных с метастатическим поражением печени — 0,26 (рис. 5).

При анализе выживаемости в зависимости от пола были получены следующие данные: у мужского пола выживаемость была ниже по сравнению с пациентками женского пола ($p = 0,031$) (рис. 6). Причем различие в динамике общей выживаемости сформировалось практически сразу после ТАХЭ, начиная с первого месяца после оперативного вмешательства. С 6-го месяца после хирургической процедуры выживаемость больных мужского и женского пола имела близкие значения (рис. 6).

После выполнения трансартериальной химиоэмболизации частота полных некрозов опухолевых узлов в печени составила 28,5% ($n = 95$). Местная прогрессия опухоли в печени, новые очаги в печени за двухлетний период наблюдались в 71,5% ($n = 238$).

У 206 умерших больных за два года анализировали структуру причин летальных исходов. У 165 (80,1%) больных причиной смерти было прогрессирование злокачественного заболевания, у 24 (11,7%) пациентов — тяжелая печеночная недостаточность, у 17 (8,2%) — массивное кровотечение из желудочно-кишечного тракта.

Постэмболизационный синдром как неспецифическая реакция органов на контролируемую ишемия и некроз тканей, которые ранее получали питание от окклюзированного сосуда, развился у 209 (62,8%) больных. Развитие постэмболизационного синдрома не влияло на общую выживаемость пациентов ($p = 0,582$) (рис. 7). Несмотря на то что развитие постэмболизационного синдрома не влияло на общую выживаемость пациентов, как сказано выше, после выполнения трансартериальной химиоэмболизации негативные клинические симптомы (болевой синдром в проекции желудка и печени, лихорадка, интоксикация, тошнота) снижали качество жизни. В силу данного обстоятельства необходима разработка предикторов развития данного осложнения.

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты представленного исследования демонстрируют, что ТАХЭ остается одним из основных методов лечения первичного и метастатического рака печени, однако общая выживаемость пациентов остается низкой (38,1% за 24 месяца), что согласуется с данными других исследований, где показатели выживаемости варьировали от 30 до 50% в зависимости от стадии за-

болевания [5]. Это подчеркивает необходимость совершенствования методов локальной терапии, особенно для пациентов с поздними стадиями заболевания, где риск смерти значительно выше [3, 6].

Анализ динамики выживаемости выявил экспоненциальное снижение в первые месяцы после ТАХЭ, что соответствует данным исследований, указывающим на критическую роль раннего послеоперационного периода в прогнозе жизни пациентов [4, 7]. Высокий риск смертности в первые 2–8 месяцев после процедуры может быть связан не только с агрессивным течением заболевания, но и с исходным функциональным состоянием печени. Например, наличие цирроза и портальной гипертензии до процедуры является известным фактором риска развития печеночной недостаточности после ТАХЭ [8–10]. Кроме того, быстрое прогрессирование заболевания в этот период может объясняться селекцией более агрессивных клонов опухолевых клеток, выживающих в условиях гипоксии, индуцированной ТАХЭ [11]. Немаловажную роль могут играть и процедур-ассоциированные осложнения, такие как ишемическое повреждение желчных путей или абсцессы печени, которые чаще манифестируют в раннем послеоперационном периоде [12].

Также в данной работе было обнаружено почти двукратное (1,7) увеличение риска смерти у пациентов с метастатическим колоректальным раком по сравнению с ГЦК. Данный факт может быть объяснен фундаментальными различиями в биологии опухолей. ГЦК является первичной опухолью печени, часто развивающейся на фоне хронического заболевания, в то время как метастазы КРР представляют собой вторичные очаги аденокарциномы, обладающей собственным агрессивным фенотипом и устойчивостью к терапии [13]. Кроме того, пациенты с метастазами КРР в печень часто имеют системный характер заболевания и внепеченочные микрометастазы, которые не подвергаются воздействию локальной терапии ТАХЭ и могут служить источником дальнейшего прогрессирования [14]. Регрессионный анализ Кокса подтвердил значимое влияние на общую выживаемость таких факторов, как стадия заболевания, тип поражения печени, пол и наличие таргетной терапии. Эти результаты согласуются с данными других исследований, где метастатическое поражение печени и мужской пол ассоциировались с худшим прогнозом [15, 16]. При этом включение таргетной терапии показало положительный эффект, снижая риск смерти на 38%, что соответствует современным тенденциям комбинированного лечения злокачественного новообразования печени [17, 18]. Положительный эффект, вероятно, обусловлен синергическим действием: ТАХЭ, вызывая ишемию и некроз, нарушает микроокружение опухоли, в то время как таргетные препараты ингибируют пути внутриклеточной сигнализации, ответственные за выживание и пролиферацию опухолевых клеток, а также подавляют индуцированный гипоксией ангиогенез за счет ингибирования рецептора VEGF [17]. Существенная разница в частоте назначения таргетной терапии между группами с ГЦК и метастазами КРР (87,1 и 34,2% со-

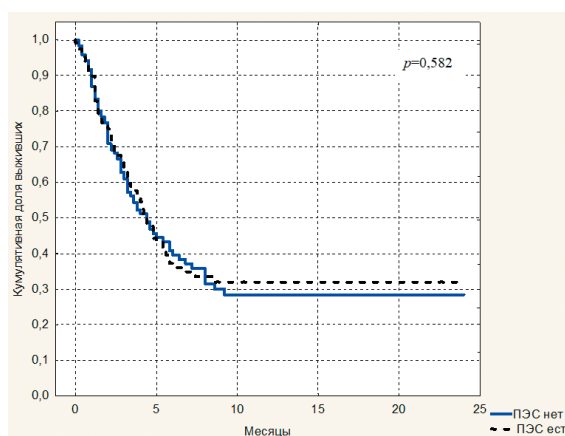


Рисунок 7. Кривые кумулятивной общей выживаемости пациентов с учетом развития постэмболизационного синдрома (ПЭС)

Figure 7. Cumulative overall survival curves of patients taking into account the development of post-embolization syndrome (PES)

ответственно) может отражать различия в стандартах лечения и доступности препаратов, что могло оказать существенное влияние на общие результаты выживаемости в когортах.

Также в данном исследовании были выявлены гендерные различия. Наблюдаемая разница в выживаемости между мужчинами и женщинами, при которой пациенты мужского пола имели менее благоприятный прогноз, вероятно, является многофакторным явлением. Эпидемиологические данные подтверждают факт более высокой заболеваемости гепатоцеллюлярной карциномой среди мужчин, что, по-видимому, обусловлено большей распространенностью у них основных факторов риска, таких как хронические вирусные гепатиты, злоупотребление алкоголем и неалкогольная жировая болезнь печени [16, 19, 20]. Кроме того, потенциальную роль могут играть гормональные факторы, в частности протективное действие эстрогенов, которые могут модулировать процессы воспаления, фиброза и канцерогенеза в печени [21].

Высокая частота прогрессирования заболевания (71,5%) на фоне относительно низкого уровня полных некрозов опухоли (28,5%) наглядно демонстрирует ограниченную эффективность ТАХЭ в качестве монотерапии. Эти данные согласуются с современными представлениями, в соответствии с которыми комбинированные подходы, объединяющие ТАХЭ с таргетной терапией или иммунотерапией, позволяют достичь значительного улучшения отдаленных результатов [22, 23]. Важно отметить, что, хотя развитие постэмболизационного синдрома и не оказывало независимого влияния на общую выживаемость, его значительное негативное воздействие на качество жизни пациентов диктует необходимость разработки предиктивных моделей для своевременной профилактики и коррекции данного осложнения [24, 25].

Кроме того, при интерпретации полученных данных следует учитывать методологические ограничения, свойственные ретроспективному дизайну исследования. Отсутствие в исследовании рандомизированного дизайна и контрольной группы ограничивает возмож-

ность в полной мере учесть влияние таких факторов, как исходные показатели функции печени (уровень альбумина, билирубина, наличие асцита) и различия в схемах сопутствующей терапии [26]. Кроме того, ретроспективный анализ не предоставил возможности для систематической оценки динамики качества жизни и деталей послеоперационного ведения, которые могли существенно повлиять на клинические исходы. Полученные данные указывают на необходимость разработки более персонализированного подхода. Перспективным направлением является изучение комбинации ТАХЭ с иммунотерапией (ингибиторами контрольных точек), которая может потенцировать противоопухолевый иммунный ответ, нарушенный после процедуры [22]. Также необходимы исследования по выявлению предикторов ответа на ТАХЭ, включая радиомику и поиск биомаркеров в крови, что позволит отбирать пациентов, с наибольшей вероятностью извлекающих пользу из процедуры. Наконец, оптимизация техники ТАХЭ (например, использование радиоэмболизации или препаратов эмболизации с элюирующими лекарствами — DEB-TACE) может улучшить соотношение эффективности и токсичности [13, 27]. Таким образом, исследование подтверждает необходимость персонализированного подхода к лечению злокачественного новообразования печени, учитывая стадию заболевания, тип поражения и индивидуальные факторы риска. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию комбинированных методов лечения и улучшение послеоперационного ведения пациентов [28–30].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного анализа установлено, что общая выживаемость пациентов после ТАХЭ остается низкой, особенно в первые месяцы после вмешательства, что обуславливает необходимость улучшения методов лечения и профилактики ранних смертельных исходов. Экспоненциальная динамика снижения выживаемости и выявленные факторы риска, такие как стадия заболевания и характер поражения печени, позволяют более точно определить группы высокого риска и скорректировать лечебные стратегии. Использование методов Каплана — Мейера и регрессионного анализа Кокса способствует глубокому пониманию динамики выживаемости и факторов, влияющих на исходы. В целом результаты подчеркивают важность комплексного подхода к лечению и наблюдению пациентов для повышения их шансов на долгосрочную выживаемость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Llovet J.M., Kelley R.K., Villanueva A., Singal A.G., Pikarsky E., Roayaie S., et al. Hepatocellular carcinoma. *Nat Rev Dis Primers*. 2021;7(1):6. DOI: 10.1038/s41572-020-00240-3
- Геворкян Ю.А., Колесников В.Е., Солдаткина Н.В., Харагезов Д.А., Дашков В.А., Каймакчи Д.О. и др. Малоинвазивные хирургические вмешательства в лечении больных метастатическим колоректальным раком. *Южно-российский онкологический журнал*. 2020;1(2):22–7. DOI: 10.37748/2687-0533-2020-1-2-3
- Brown Z.J., Tsilimigras D.I., Ruff S.M., Mohseni A., Kamel I.R., Cloyd J.M., et al. Management of Hepatocellular Carcinoma: A Review. *JAMA Surg*. 2023;158(4):410–20. DOI: 10.1001/jamasurg.2022.7989
- Chang Y., Jeong S.W., Young Jang J., Jae Kim Y. Recent updates of transarterial chemoembolization in hepatocellular carcinoma. *Int J Mol Sci*. 2020;21(21):8165. DOI: 10.3390/ijms21218165
- Lu J., Zhao M., Arai Y., Zhong B.Y., Zhu H.D., Qi X.L., et al. Clinical practice of transarterial chemoembolization for hepatocellular carcinoma: consensus statement from an international expert panel of International Society of Multidisciplinary Interventional Oncology (ISMIO). *Hepatobiliary Surg Nutr*. 2021;10(5):661–71. DOI: 10.21037/hbsn-21-260
- European Association for the Study of the Liver. EASL Clinical Practice Guidelines on the management of hepatocellular carcinoma. *J Hepatol*. 2025;82(2):315–74. DOI: 10.1016/j.jhep.2024.08.028
- Ikeda M., Arai Y., Inaba Y., Tanaka T., Sugawara S., Kodama Y., et al. Conventional or drug-eluting beads? Randomized controlled study of chemoembolization for hepatocellular carcinoma. *JIVROSG-1302*. *Liver Cancer*. 2022;11(5):440–50. DOI: 10.1159/000525500
- Brown Z.J., Hewitt D.B., Pawlik T.M. Combination therapies plus transarterial chemoembolization in hepatocellular carcinoma: a snapshot of clinical trial progress. *Expert Opin Investig Drugs*. 2022;31(4):379–91. DOI: 10.1080/13543784.2022.2008355
- Kotsifa E., Vergadis C., Vailas M., Machairas N., Kykalos S., Damaskos C., et al. Transarterial chemoembolization for hepatocellular carcinoma: Why, When, How? *J Pers Med*. 2022;10;12(3):436. DOI: 10.3390/jpm12030436
- Agarwal P.D., Lucey M.R. Management of hepatocellular carcinoma recurrence after liver transplantation. *Ann Hepatol*. 2022;27(1):100654. DOI: 10.1016/j.aohp.2021.100654
- Llovet J.M., Montal R., Sia D., Finn R.S. Molecular pathogenesis and systemic therapies for hepatocellular carcinoma. *Nat Cancer*. 2022;3(4):386–401. DOI: 10.1038/s43018-022-00357-2
- Huppert P. Transarterial chemoembolization of hepatocellular carcinoma. *Radiologie*. 2022;62(3):225–33. DOI: 10.1007/s00117-022-00972-1
- Vogl T.J., Marko C., Langenbach M.C., Naguib N.N.N., Filmann N., Hammerstingl R., et al. Transarterial chemoembolization of colorectal cancer liver metastasis: improved tumor response by DSM-TACE versus conventional TACE, a prospective, randomized, single-center trial. *Eur Radiol*. 2021;31(4):2242–51. DOI: 10.1007/s00330-020-07281-y
- Billir L.H., Schrag D. Diagnosis and treatment of metastatic colorectal cancer: a review. *JAMA*. 2021;325(7):669–85. DOI: 10.1001/jama.2021.0106
- Bray F., Laversanne M., Sung H., Ferlay J., Siegel R.L., Soerjomataram I., et al. Global cancer statistics 2022: Globocan estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin*. 2024;74(3):229–63. DOI: 10.3322/caac.21834
- McGlynn K.A., Petrick J.L., El-Serag H.B. Epidemiology of hepatocellular carcinoma. *Hepatology*. 2021;73(1):4–13. DOI: 10.1002/hep.31288
- Yau T., Park J.W., Finn R.S., Cheng A.L., Mathurin P., Edeline J., et al. Nivolumab versus sorafenib in advanced hepatocellular carcinoma (CheckMate 459): a randomised, multicentre, open-label, phase 3 trial. *Lancet Oncol*. 2022;23(1):77–90. DOI: 10.1016/S1470-2045(21)00604-5
- Vogel A., Qin S., Kudo M., Su Y., Hudgens S., Yamashita T., et al. Lenvatinib versus sorafenib for first-line treatment of unresectable hepatocellular carcinoma: patient-reported outcomes from a randomised, open-label, non-inferiority, phase 3 trial. *Lancet Gastroenterol Hepatol*. 2021;6(8):649–58. DOI: 10.1016/S2468-1253(21)00110-2
- Chidambaranathan-Reghupaty S., Fisher P.B., Sarkar D. Hepatocellular carcinoma (HCC): Epidemiology, etiology and molecular classification. *Adv Cancer Res*. 2021;149:1–61. DOI: 10.1016/bs.acr.2020.10.001
- Konyn P., Ahmed A., Kim D. Current epidemiology in hepatocellular carcinoma. *Expert Rev Gastroenterol Hepatol*. 2021;15(11):1295–307. DOI: 10.1080/17474124.2021.1991312
- Lin J., Xia L., Liang J., Han Y., Wang H., Oyang L., et al. The roles of glucose metabolic reprogramming in chemo- and radio-resistance. *J Exp Clin Cancer Res*. 2019;38(1):218. DOI: 10.1186/s13046-019-1214-z
- Finn R.S., Qin S., Ikeda M., Galle P.R., Ducreux M., Kim T.Y., et al. Atezolizumab plus Bevacizumab in unresectable hepatocellular carcinoma. *N Engl J Med*. 2020.14;382(2):1894–905. DOI: 10.1056/NEJMoa1915745
- Cheng A.L., Hsu C., Chan S.L., Choo S.P., Kudo M. Challenges of combination therapy with immune checkpoint inhibitors for hepatocellular carcinoma. *J Hepatol*. 2020;72(2):307–19. DOI: 10.1016/j.jhep.2019.09.025
- Tan Z.B., Zhang J. Recent advances in treatment strategies for hepatocellular carcinoma with portal vein cancer thrombus. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2023;27(17):8119–34. DOI: 10.26355/eurrev_202309_33572. PMID: 37750640

- 25 Kotsifa E., Vergadis C., Vailas M., Machairas N., Kykalos S., Damaskos C., et al. Transarterial Chemoembolization for Hepatocellular Carcinoma: Why, When, How? *J Pers Med.* 2022;12(3):436. DOI: 10.3390/jpm12030436
- 26 Sidali S., Trépo E., Sutter O., Nault J.C. New concepts in the treatment of hepatocellular carcinoma. *United European Gastroenterol J.* 2022;10(7):765–74. DOI: 10.1002/ueg2.12286
- 27 Raoul J.L., Forner A., Bolondi L., Cheung T.T., Kloeckner R., de Baere T. Updated use of TACE for hepatocellular carcinoma treatment: How and when to use it based on clinical evidence. *Cancer Treat Rev.* 2019;72:28–36. DOI: 10.1016/j.ctrv.2018.11.002
- 28 Llovet J.M., Montal R., Sia D., Finn R.S. Molecular therapies and precision medicine for hepatocellular carcinoma. *Nat Rev Clin Oncol.* 2018;15(10):599–616. DOI: 10.1038/s41571-018-0073-4
- 29 Reig M., Forner A., Rimola J., Ferrer-Fàbrega J., Burrel M., Garcia-Criado Á., et al. BCLC strategy for prognosis prediction and treatment recommendation: The 2022 update. *J Hepatol.* 2022;76(3):681–93. DOI: 10.1016/j.jhep.2021.11.018
- 30 Димитриади С.Н., Кит О.И., Медведев В.Л. Технические особенности выполнения лапароскопической резекции почки при почечно-клеточном раке. *Онкоурология.* 2014;2:16–21.

REFERENCES

- 1 Llovet J.M., Kelley R., Villanueva A., Singal A., Pikarsky E., et al. Hepatocellular carcinoma. *Nat Rev Dis Primers.* 2021;7(1):6. DOI: 10.1038/s41572-020-00240-3
- 2 Gevorkyan Yu.A., Kolesnikov V.E., Soldatkina N.V., Kharagezov D.A., Dashkov V.A. et al. Minimally invasive surgical interventions in the treatment of patients with metastatic colorectal cancer. *South-Russian Journal of Oncology.* 2020;1(2):22–7 (In Russ.). DOI: 10.37748/2687-0533-2020-1-2-3
- 3 Brown Z.J., Tsilimigras D.I., Ruff S.M., Mohseni A., Kamel I.R., et al. Management of Hepatocellular Carcinoma: A Review. *JAMA Surg.* 2023;158(4):410–20. DOI: 10.1001/jamasurg.2022.7989
- 4 Chang Y., Jeong S.W., Young Jang J., Jae Kim Y. Recent Updates of Transarterial Chemoembolization in Hepatocellular Carcinoma. *Int J Mol Sci.* 2020;21(21):8165. DOI: 10.3390/ijms21218165
- 5 Lu J., Zhao M., Arai Y., Zhong B.Y., Zhu H.D., Qi X.L., et al. Clinical practice of transarterial chemoembolization for hepatocellular carcinoma: consensus statement from an international expert panel of International Society of Multidisciplinary Interventional Oncology (ISMIO). *Hepatobiliary Surg Nutr.* 2021;10(5):661–71. DOI: 10.21037/hbsn-21-260
- 6 European Association for the Study of the Liver. *EASL Clinical Practice Guidelines on the management of hepatocellular carcinoma.* *J Hepatol.* 2025;82(2):315–74. DOI: 10.1016/j.jhep.2024.08.028
- 7 Ikeda M., Arai Y., Inaba Y., Tanaka T., Sugawara S., et al. Conventional or Drug-Eluting Beads? Randomized Controlled Study of Chemoembolization for Hepatocellular Carcinoma: JIVROSG-1302. *Liver Cancer.* 2022;11(5):440–50. DOI: 10.1159/000525500
- 8 Brown Z.J., Hewitt D.B., Pawlik T.M. Combination therapies plus transarterial chemoembolization in hepatocellular carcinoma: a snapshot of clinical trial progress. *Expert Opin Investig Drugs.* 2022;31(4):379–91. DOI: 10.1080/13543784.2022.2008355
- 9 Kotsifa E., Vergadis C., Vailas M., Machairas N., Kykalos S., Damaskos C., et al. Transarterial Chemoembolization for Hepatocellular Carcinoma: Why, When, How? *J Pers Med.* 2022;10;12(3):436. DOI: 10.3390/jpm12030436
- 10 Agarwal P.D., Lucey M.R. Management of hepatocellular carcinoma recurrence after liver transplantation. *Ann Hepatol.* 2022;27(1):100654. DOI: 10.1016/j.aohp.2021.100654
- 11 Llovet J.M., Montal R., Sia D., Finn R.S. Molecular pathogenesis and systemic therapies for hepatocellular carcinoma. *Nat Cancer.* 2022;3(4):386–401. DOI: 10.1038/s43018-022-00357-2
- 12 Huppert P. Transarterielle Chemoembolisation des hepatozellulären Karzinoms [Transarterial chemoembolization of hepatocellular carcinoma]. *Radiologe.* 2022 Mar;62(3):225–33. German. DOI: 10.1007/s00117-022-00972-1
- 13 Vogl T.J., Riegelbauer L.J., Oppermann E., Kostantinou N., Koch I.S., et al. Transarterial chemoembolization of colorectal cancer liver metastasis: improved tumor response by DSM-TACE versus conventional TACE, a prospective, randomized, single-center trial. *Eur Radiol.* 2021;31(4):2242–51. DOI: 10.1007/s00330-020-07281-y
- 14 Biller L.H., Schrag D. Diagnosis and Treatment of Metastatic Colorectal Cancer: A Review. *JAMA.* 2021;325(7):669–85. DOI: 10.1001/jama.2021.0106
- 15 Bray F., Laversanne M., Sung H., Ferlay J., Siegel R.L., et al. Global cancer statistics 2022: Globocan estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin.* 2024;74(3):229–63. DOI: 10.3322/caac.21834
- 16 McGlynn K.A., Petrick J.L., El-Serag H.B. Epidemiology of Hepatocellular Carcinoma. *Hepatology.* 2021;73(1):4–13. DOI: 10.1002/hep.31288
- 17 Yau T., Park J.W., Finn R.S., Cheng A.L., Mathurin P., et al. Nivolumab versus sorafenib in advanced hepatocellular carcinoma (CheckMate 459): a randomised, multicentre, open-label, phase 3 trial. *Lancet Oncol.* 2022;23(1):77–90. DOI: 10.1016/S1470-2045(21)00604-5
- 18 Vogel A., Qin S., Kudo M., Su Y., Hudgens S., et al. Lenvatinib versus sorafenib for first-line treatment of unresectable hepatocellular carcinoma: patient-reported outcomes from a randomised, open-label, non-inferiority, phase 3 trial. *Lancet Gastroenterol Hepatol.* 2021;6(8):649–58. DOI: 10.1016/S2468-1253(21)00110-2
- 19 Chidambaranathan-Reghupaty S., Fisher P.B., Sarkar D. Hepatocellular carcinoma (HCC): Epidemiology, etiology and molecular classification. *Adv Cancer Res.* 2021;149:1–61. DOI: 10.1016/bs.acr.2020.10.001
- 20 Konyon P., Ahmed A., Kim D. Current epidemiology in hepatocellular carcinoma. *Expert Rev Gastroenterol Hepatol.* 2021;15(11):1295–307. DOI: 10.1080/17474124.2021.1991312
- 21 Lin J., Xia L., Liang J., Han Y., Wang H., et al. The roles of glucose metabolic reprogramming in chemo- and radio-resistance. *J Exp Clin Cancer Res.* 2019;38(1):218. DOI: 10.1186/s13046-019-1214-z
- 22 Finn R.S., Qin S., Ikeda M., Galle P.R., Ducreux M., Kim T.Y., et al. Atezolizumab plus Bevacizumab in Unresectable Hepatocellular Carcinoma. *N Engl J Med.* 2020.14;382(20):1894–905. DOI: 10.1056/NEJMoa1915745
- 23 Cheng A.L., Hsu C., Chan S.L., Choo S.P., Kudo M. Challenges of combination therapy with immune checkpoint inhibitors for hepatocellular carcinoma. *J Hepatol.* 2020;72(2):307–19. DOI: 10.1016/j.jhep.2019.09.025
- 24 Tan Z.B., Zhang J. Recent advances in treatment strategies for hepatocellular carcinoma with portal vein cancer thrombus. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2023;27(17):8119–34. DOI: 10.26355/eur-rev_202309_33572. PMID: 37750640
- 25 Kotsifa E., Vergadis C., Vailas M., Machairas N., Kykalos S., et al. Transarterial Chemoembolization for Hepatocellular Carcinoma: Why, When, How? *J Pers Med.* 2022;12(3):436. DOI: 10.3390/jpm12030436. PMID: 35330436; PMCID: PMC8955120
- 26 Sidali S., Trépo E., Sutter O., Nault J.C. New concepts in the treatment of hepatocellular carcinoma. *United European Gastroenterol J.* 2022;10(7):765–74. DOI: 10.1002/ueg2.12286. Epub 2022 Aug 16. PMID: 35975347; PMCID: PMC9486494
- 27 Raoul J.L., Forner A., Bolondi L., Cheung T.T., Kloeckner R., de Baere T. Updated use of TACE for hepatocellular carcinoma treatment: How and when to use it based on clinical evidence. *Cancer Treat Rev.* 2019;72:28–36. DOI: 10.1016/j.ctrv.2018.11.002. PMID: 30447470
- 28 Llovet J.M., Montal R., Sia D., Finn R.S. Molecular therapies and precision medicine for hepatocellular carcinoma. *Nat Rev Clin Oncol.* 2018;15(10):599–616. DOI: 10.1038/s41571-018-0073-4
- 29 Reig M., Forner A., Rimola J., Ferrer-Fàbrega J., Burrel M., Garcia-Criado Á., et al. BCLC strategy for prognosis prediction and treatment recommendation: The 2022 update. *J Hepatol.* 2022;76(3):681–93. DOI: 10.1016/j.jhep.2021.11.018
- 30 Dimitriadi S.N., Kit O.I., Medvedev V.L. Technical features of performing laparoscopic kidney resection for hepatic cell carcinoma. *Oncology.* 2014;2:16–21 (In Russ.).
- © Солодов И.И., Шатова Ю.С., Максимов А.Ю., Колесников Е.Н., Меньшенина А.П., Ушакова Н.Д., Солдаткина Н.В., Снежко А.В., Егоров Г.Ю., Галина А.В., Гурова С.В., Ходакова Д.В., 2025
- © Solodov I.I., Shatova Yu.S., Maksimov A.Yu., Kolesnikov E.N., Menshenina A.P., Ushakova N.D., Soldatkina N.V., Snezhko A.V., Egorov G.Yu., Galina A.V., Gurova S.V., Khodakova D.V., 2025

<https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-338-344>

Опыт робот-ассистированных вмешательств при скользящих грыжах пищеводного отверстия диафрагмы II–III степени с применением новой методики

Авзалетдинов Артур Марсович — д.м.н., профессор, отделение торакальной хирургии, orcid.org/0000-0002-2435-8141

Бакиров Анвар Акрамович — д.м.н., профессор, кафедра общей хирургии, трансплантологии и лучевой диагностики, orcid.org/0009-0004-3557-3359

Вильданов Таяр Даянович — отделение торакальной хирургии, orcid.org/0009-0009-4114-8144

Мусакаева Камила Ринатовна — отделение торакальной хирургии, кафедра госпитальной хирургии и сердечно-сосудистой хирургии, orcid.org/0009-0003-0804-0373

Нургудин Артур Айварович — отделение торакальной хирургии, orcid.org/0000-0001-9978-2951

Гибадуллин Иршат Асхатович — отделение торакальной хирургии, кафедра госпитальной хирургии и сердечно-сосудистой хирургии, orcid.org/0000-0001-9596-7342

Ерин Сергей Александрович — д.м.н., профессор, хирургическое отделение № 1, orcid.org/0000-0003-1083-8678

Гололобов Григорий Юрьевич — кафедра общей хирургии, orcid.org/0000-0001-9279-8600

А.М. Авзалетдинов¹, А.А. Бакиров², Т.Д. Вильданов¹, К.Р. Мусакаева^{1,2}, А.А. Нургудин¹, И.А. Гибадуллин^{1,2}, Е.А. Ерин³, Г.Ю. Гололобов⁴*

¹ Клиника Башкирского государственного медицинского университета, Россия, Республика Башкортостан, Уфа

² Башкирский государственный медицинский университет, Россия, Республика Башкортостан, Уфа

³ Медицинский научно-образовательный центр МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия, Москва

⁴ Институт клинической медицины Сеченовского университета, Россия Москва

* **Контакты:** Мусакаева Камила Ринатовна, e-mail: www.millka321@yandex.ru

Аннотация

Введение. Грыжа пищеводного отверстия диафрагмы (ГПОД) — это заболевание, при котором происходит ослабление связочного аппарата диафрагмы, в следствие чего происходит растяжение и увеличение пищеводного отверстия диафрагмы, что приводит к выходу органов брюшной полости в плевральную полость. Распространенным методом хирургического лечения ГПОД является лапароскопическая фундопликация по Ниссену с дальнейшим выполнением до или после передней или задней крурорафией. Альтернативным методом является применение робот-ассистированной хирургии. **Материалы и методы.** С апреля 2022 года по январь 2024 года в торакальном хирургическом отделении Клиники БГМУ выполнено 113 робот-ассистированных лапароскопических фундопликаций. Пациенты были разделены на две группы: Исследовательская группа (n=65): выполнена робот-ассистированная лапароскопическая фундопликация по Ниссену с модифицированной крурорафией и фиксацией манжеты Z-образными швами по патенту № 2813330С1. Контрольная группа (n=48): выполнена стандартная лапароскопическая фундопликация по Ниссену с передней крурорафией узловыми швами. Все оперативные вмешательства выполнены на роботической системы Da Vinci Si. **Результаты и обсуждение.** Применение патента № 2813330С1 при робот-ассистированных вмешательствах при ГПОД 3 степени предотвращает миграцию манжеты, в том числе и в плевральную полость, соскальзывание и возникновение симптома «телескопа». Позволяет предотвратить деформацию, достичь симметричности и предотвратить соскальзывание манжеты, а также обеспечивает раннюю активацию пациентов и начало энтерального питания за счет использования лапароскопической техники и Z-образного шва нерассасывающимся шовным материалом. **Заключение.** Проведенные нами оперативные вмешательства при ГПОД 3 степени с применением патента № 2813330С1 и положительные результаты позволяют рассчитывать на то, что предлагаемый нами способ найдёт широкое применение в видеоэндоскопической хирургии.

Ключевые слова: скользящая грыжа пищеводного отверстия диафрагмы, робот-ассистированная фундопликация, лапароскопическая коррекция, крурорафия, техника наложения швов

Информированное согласие. Информированное согласие пациента на публикацию своих данных получено.

Информация о конфликте интересов. Бакиров Анвар Акрамович является членом редакционной коллегии журнала «Креативная хирургия и онкология» и не принимал участия в редакционном рассмотрении и принятии решения о публикации данной статьи. Все авторы заявляют, что конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Данная работа не финансировалась.

Вклад авторов. Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Для цитирования: Авзалетдинов А.М., Бакиров А.А., Вильданов Т.Д., Мусакаева К.Р., Нургудин А.А., Гибадуллин И.А., Ерин Е.А., Гололобов Г.Ю. Опыт робот-ассистированных вмешательств при скользящих грыжах пищеводного отверстия диафрагмы II–III степени с применением новой методики. Креативная хирургия и онкология. 2025;15(4):338–344. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-338-344>

Поступила в редакцию: 17.07.2025

Поступила после рецензирования и доработки: 02.09.2025

Принята к публикации: 11.09.2025

Robot-Assisted Interventions for Type II and III Sliding Hiatal Hernias Using an Advanced Method

Artur M. Avzaletdinov¹, Anvar A. Bakirov², Tayar D. Vildanov¹, Kamila R. Musakaeva^{1,2*}, Artur A. Nurgudin¹, Irshat A. Gibadullin^{1,2}, Sergey A. Erin³, Grigorii Yu. Gololobov⁴

¹Clinic of Bashkir State Medical University, Ufa, Russian Federation

²Bashkir State Medical University, Ufa, Russian Federation

³Medical Research and Educational Center, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

⁴Institute of Clinical Medicine, Sechenov University, Moscow, Russian Federation

*Correspondence to: Kamila R. Musakaeva, e-mail: www.millka321@yandex.ru

Abstract

Introduction. A hiatal hernia (HH) is a condition of weakened diaphragmatic ligaments, resulting in stretching and enlargement of the hiatal opening and protrusion of abdominal organs into the pleural cavity. In the pathogenesis of HH, one of the leading roles is played by the structural degradation of connective tissue fibers of the esophageal-diaphragmatic membrane and weakening of the ligamentous apparatus of the stomach. A common method of HH surgical treatment involves laparoscopic Nissen fundoplication combined with anterior or posterior cruroraphy. An alternative method is the use of robot-assisted surgery. **Materials and methods.** During the period from April 2022 to January 2024, 113 robot-assisted laparoscopic funduplications were performed in the thoracic surgery unit at the Hospital of Bashkir State Medical University (Ufa, Russian Federation). The patients were divided into two groups. A research group ($n = 65$) underwent robot-assisted laparoscopic Nissen fundoplication with modified cruroraphy and cuff fixation with Z-shaped sutures according to patent 2813330C1. A control group ($n = 48$) had standard laparoscopic Nissen fundoplication with anterior cruroraphy using interrupted sutures. The age of operated patients ranged from 35 to 65 years, including 72 and 28% of women and men, respectively. All surgical interventions were performed using the Da Vinci Si robotic system. **Results and discussion.** The use of an advanced technique (patent 2813330C1) in robot-assisted interventions for type III HHs prevents cuff migration and slippage, including into the pleural cavity, as well as the occurrence of the “telescope” symptom. It helps achieve symmetry and prevent cuff deformation and slippage, as well as ensures early patient activation and initiation of enteral nutrition through the use of laparoscopic techniques and Z-shaped suture with non-absorbable suture material. **Conclusion.** The positive results of surgical interventions performed for type III HHs using the developed technique (patent 2813330C1) demonstrate the proposed method promising for videoendoscopic surgery.

Keywords: sliding hiatal hernia, robot-assisted fundoplication, laparoscopic correction, cruroraphy, suturing technique

Statement of informed consent. Written informed consent was obtained from the patient for publication of this case report and accompanying materials.

Conflict of interest. Anvar A. Bakirov is a member of the editorial board of the journal «Creative Surgery and Oncology» and did not participate in the reviewing and accepting procedure associated with the publication of this paper. The authors declare no conflict of interest.

Sponsorship data. This work is not funded.

Author contributions. The authors contributed equally to this article.

For citation: Avzaletdinov A.M., Bakirov A.A., Vildanov T.D., Musakaeva K.R., Nurgudin A.A., Gibadullin I.A., Erin S.A., Gololobov G.Yu. Robot-assisted interventions for type II and III sliding hiatal hernias using an advanced method. *Creative Surgery and Oncology*. 2025;15(4):338–344. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-338-344>

Received: 17.07.2025

Revised: 02.09.2025

Accepted: 11.09.2025

Artur M. Avzaletdinov — Dr. Sci. (Med.), Unit of Thoracic Surgery, orcid.org/0000-0002-2435-8141

Anvar A. Bakirov — Dr. Sci. (Med.), Prof., Department of General Surgery, Transplantology and X-ray Diagnostics, orcid.org/0009-0004-3557-3359

Tayar D. Vildanov — Unit of Thoracic Surgery, orcid.org/0009-0009-4114-8144

Kamila R. Musakaeva — Unit of Thoracic Surgery, Department of Hospital and Cardiovascular Surgery, orcid.org/0009-0003-0804-0373

Artur A. Nurgudin — Unit of Thoracic Surgery, orcid.org/0000-0001-9978-2951

Irshat A. Gibadullin — Unit of Thoracic Surgery, Department of Hospital and Cardiovascular Surgery, orcid.org/0000-0001-9596-7342

Sergey A. Erin — Dr. Sci. (Med.), Prof., Surgery Unit No. 1, orcid.org/0000-0003-1083-8678

Grigorii Yu. Gololobov — Department of General Surgery, orcid.org/0000-0001-9279-8600

ВВЕДЕНИЕ

Грыжа пищеводного отверстия диафрагмы (ГПОД) — это заболевание, при котором происходит ослабление связочного аппарата диафрагмы, вследствие чего происходит растяжение и увеличение пищеводного отверстия диафрагмы, что приводит к выходу органов брюшной полости в плевральную полость. На данный момент ГПОД являются одной из самых актуальных проблем в гастроэнтерологии и хирургии [1, 2].

Данные выводы исходят из нескольких факторов, а именно:

во-первых, ГПОД составляют 95 % от всех видов других грыж диафрагмы [2]. В структуре заболеваний желудочно-кишечного тракта ГПОД составляют от 3 до 34 % и занимают третье место после таких заболеваний, как желчнокаменная болезнь, язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки [1];

во-вторых, носит прогредиентное течение, то есть прослеживается зависимость степени тяжести клинических проявлений от возраста пациента, а именно их нарастание со временем [3];

в-третьих, клиническое течение ГПОД проявляется такими симптомами, как изжога, отрыжка, тошнота и рвота, боль за грудиной, что, в свою очередь, приводит к значительному снижению качества жизни пациента, а также не всегда поддается консервативному лечению.

В патогенезе ГПОД одну из ведущих ролей занимает структурная деградация соединительнотканых волокон пищеводно-диафрагмальной мембраны, ослабление связочного аппарата у желудка, а также других органов брюшной полости [4, 5]. При данной патологии также одну из главных ролей в развитии играет врожденная слабость соединительной ткани и наследственная предрасположенность [6, 7].

В настоящее время выделяют несколько типов ГПОД [8].

1. I тип (аксиальные грыжи) — при данном типе ГПОД происходит осевое смещение гастроэзофагеального перехода, тела или дна желудка в плевральную полость через расширенное эзофагеальное отверстие диафрагмы, а также возвращение органов в брюшную полость в случае изменения положения тела.

2. II тип (параэзофагеальные грыжи) — гастроэзофагеальный переход смещается в брюшной полости, а часть желудка при этом перемещается в плевральную полость.

3. III тип (смешанные грыжи) — сочетание параэзофагеальных и аксиальных механизмов образования грыж пищеводного отверстия диафрагмы, при котором происходит перемещение желудка в плевральную полость более чем на 50 %.

4. IV тип — совместно с желудком в грыжевой мешок переходят и другие органы брюшной полости, такие как поджелудочная железа, тонкая и толстая кишки, селезенка, сальник, они смещаются в плевральную полость.

Степень тяжести ГПОД классифицируют по объему проникновения желудка в плевральную полость:

1. I степень — при этом абдоминальный отдел пищевода, кардия смещаются в плевральную полость и располагаются на уровне диафрагмы.

2. II степень — проникновение в плевральную полость абдоминального отдела пищевода, часть желудка находится непосредственно в области пищеводного отдела диафрагмы.

3. III степень — расположение абдоминального отдела пищевода, кардии и части желудка непосредственно над диафрагмой.

4. IV степень — при этом происходит смещение и расположение всех отделов желудка над диафрагмой.

В основе хирургического лечения ГПОД лежит выделение ножек диафрагмы, низведение желудка в брюшную полость, затем ликвидация ворот грыжи, выполнение передней или задней крурорафии и формирование антирефлюксной манжеты.

Одним из наиболее распространенных методов хирургического лечения ГПОД на данный момент является выполнение лапароскопической фундопликации по Ниссену с дальнейшим выполнением до или после передней или задней крурорафии [8, 9]. Альтернативным методом является применение робот-ассистированной хирургии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В период с апреля 2022 по январь 2024 года в торакальном отделении Клиники БГМУ было проведено проспективное сравнительное исследование. В исследование включены 113 пациентов с ГПОД III степени. Пациенты были разделены на две группы.

Исследовательская группа ($n = 65$). Пациентам выполнена робот-ассистированная лапароскопическая фундопликация по Ниссену с модифицированной крурорафией и фиксацией манжеты Z-образными швами по патенту № 2813330 [10]. Суть применяемого метода заключалась в выполнении робот-ассистированной лапароскопической фундопликации по Ниссену с Z-образной фиксацией манжеты ко дну желудка двумя-тремя Z-образными швами к левому краю стенки пищевода, что позволяет предотвратить деформацию, достичь симметричности и предотвратить соскальзывание манжеты, а также обеспечивает раннюю активацию пациентов и начало энтерального питания за счет использования лапароскопической техники, использования Z-образного шва нерассасывающимся шовным материалом. Средний срок госпитализации пациентов составил 4 дня, при этом энтеральное питание началось уже на вторые сутки после оперативного вмешательства.

Контрольная группа ($n = 48$). Пациентам выполнена стандартная лапароскопическая фундопликация по Ниссену с передней крурорафией узловыми швами. Критерии включения и исключения для обеих групп были идентичны и соответствуют описанным ранее: возраст 35–65 лет, подтвержденный диагноз ГПОД III степени, стойкая рефлюксная симптоматика, резистентная к консервативной терапии. Исключались пациенты с ожирением ($\text{ИМТ} > 35 \text{ кг/м}^2$), предшествующими операциями и тяжелой сопутствующей патологией.

Группы были сопоставимы по полу (72 % женщин/28 % мужчин в основной группе, 70/30 % в контрольной), возрасту (средний возраст $52,3 \pm 6,7$ года в исследова-

тельской группе и $54,1 \pm 5,9$ года в контрольной) и показателям ИМТ ($24,8 \pm 3,1$ и $25,2 \pm 2,8$ кг/м² соответственно).

Статистический анализ: для обработки результатов использовался пакет статистических программ SPSS 26.0. Проверка количественных данных на нормальность распределения проводилась с помощью критерия Шапиро — Уилка. Для сравнения количественных показателей между группами применялся *t*-критерий Стьюдента для независимых выборок. Для сравнения качественных признаков (частота рецидивов, осложнений) использовался критерий χ^2 (хи-квадрат) с поправкой Йейтса. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты рассмотрены на клиническом примере.

Пациент О., 48 лет. Основной диагноз: Скользящая грыжа пищеводного отверстия диафрагмы. Осложнения: Рефлюкс-эзофагит. Жалобы при поступлении на изжогу, отрыжку, периодически возникающую отрыжку пищей. Из анамнеза известно, что вышеописанные жалобы беспокоят с 2018 года. Наблюдается у гастроэнтеролога по месту жительства, консервативная терапия без эффекта, направлен на плановое оперативное лечение.

При обследовании:

Фиброгастродуоденоскопия (ФГДС): Пищевод проходим. Слизистая в нижней трети пищевода умеренно гиперемирована, линейные эрозии $0,5 \times 4,0$ см, покрытые фибрином. Розетка кардии подтянута выше хиатального сужения диафрагмы, смыкается не полностью, образуя грыжевую полость больших размеров. Слизистая желудка пролабирует в пищевод. В желудке пенистая слизь, сок в большом количестве. Перистальтика активная. Складки извитые, высокие. Слизистая желудка умеренно гиперемирована. Привратник расположен центрично, смыкается. Луковица двенадцатиперстной кишки проходима, не деформирована. Слизистая 12-перстной кишки гиперемирована, эластичная. В просвете двенадцатиперстной кишки слизь. БДС без особенностей. Заключение: Грыжа пищеводного отверстия диафрагмы 3-й степени. Эрозивный рефлюкс-эзофагит по LA степени В. Поверхностный гастродуоденит.

Рентгенография пищевода: В горизонтальном положении на животе при проведении нагрузочных проб определяется незначительное расширение ампулярной части пищевода с наличием пролабирования складок желудка выше диафрагмального кольца. Отмечается кратковременное депонирование скудных объемов контрастного вещества в наддиафрагмальном сегменте. Газовый пузырь желудка небольших размеров. Желудок обычного расположения, формы и размеров. Антральный отдел желудка опускается ниже гребешковой линии. Контуры желудка по малой кривизне ровные, гладкие, по большой кривизне равномерно зазубренные. Складки слизистой незначительно утолщены, эластичные. Луковица и петля двенадцатиперстной кишки формируются правильно, обычного расположения,

формы и размеров. Заключение: Рентгенологические признаки эзофагита. Грыжа пищеводного отверстия диафрагмы, гастроэзофагеальная рефлюксная болезнь (рис. 1).

Спирография: Жизненная емкость легких в пределах нормы. Бронхиальная проходимость не нарушена.

Ультразвуковая диагностика органов брюшной полости: ультразвуковые признаки диффузных изменений паренхимы поджелудочной железы по типу хронического панкреатита.

23.03.2022. Выполнена операция: Робот-ассистированная лапароскопическая фундопликация по Ниссену с использованием фиксации дна желудка двумя-тремя Z-образными швами к левому краю стенки пищевода.

Под наркозом после обработки операционного поля установлены порты роботической системы Da Vinci и один дополнительный ассистентский порт в типичных местах. Применяли троакары Эндопат Хсел 12 и 10 мм. Проводили докинг инструментов. Карбоксиперитонеум. Введены инструменты и лапароскоп. В брюшной полости выпота нет. Левая доля печени отведена, желудок фиксирован на зонде. Мобилизованы малая кривизна желудка, пищеводно-желудочный переход. Пищеводное отверстие диафрагмы расширено до 6 см. Выделено дно желудка с пересечением коротких ветвей. Позади пищевода выделено отверстие, через которое проведено дно желудка, наложены 3 узловых шва и сформирована фундопликационная манжета на 360 градусов по Ниссену. Дно желудка фиксировано тремя Z-образными швами к левому краю стенки пищевода. Задняя крурорафия двумя Z-образными

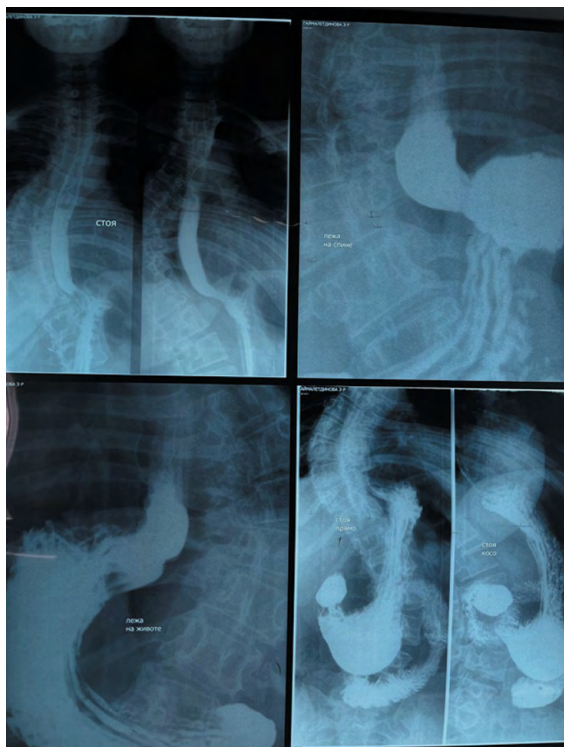


Рисунок 1. Р-скопия пищевода до проведения оперативного вмешательства

Figure 1. X-ray of the esophagus before surgery

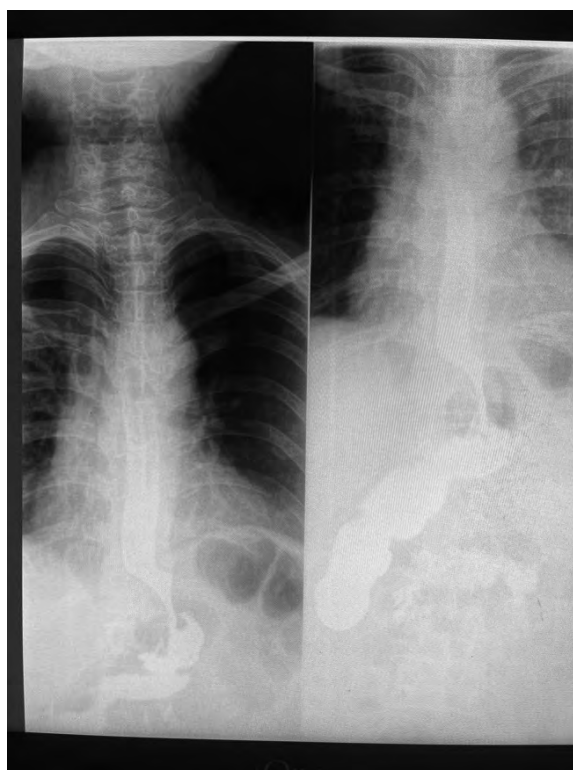


Рисунок 2. Р-скопия пищевода после проведения оперативного вмешательства

Figure 2. X-ray of the esophagus after surgery

швами. Контроль на гемостаз. Диссуфляция. Послойное ушивание доступов. Асептическая повязка.

В послеоперационном периоде без особенностей. Пациент выписан из стационара на 4-е сутки после проведения робот-ассистированной фундопликации по Ниссену в удовлетворительном состоянии. При контрольном осмотре через 6 месяцев и проведении контрольной Р-скопии пищевода и ФГДС после оперативного вмешательства рецидива не выявлено.

Предложенный способ фиксации дна желудка к пищеводу был успешно применен у 113 пациентов. Возраст больных варьировал от 35 до 65 лет. Больным выполнена робот-ассистированная лапароскопическая фун-

допликация по Ниссену с применением фиксации дна желудка Z-образным швом к левому краю пищевода. У всех больных на контрольном ФГДС и Р-скопии пищевода рецидива заболевания не выявлено (рис. 2).

В данном случае была применена робот-ассистированная лапароскопическая фундопликация по Ниссену с модификацией — фиксацией дна желудка Z-образными швами к левому краю пищевода. Эта методика имеет несколько принципиальных отличий от традиционных подходов.

1. Использование робот-ассистированной системы Da Vinci обеспечивает прецизионность манипуляций в ограниченном пространстве пищеводно-желудочного перехода, что особенно важно при больших размерах грыжи (6 см в данном случае) [11, 12].

2. Z-образные швы вместо узловых снижают нагрузку на ткани, уменьшают риск ишемии и прорезывания швов, что подтверждается отсутствием рецидивов у всех 113 пролеченных пациентов.

3. Фиксация манжеты к пищеводу предотвращает ее миграцию и соскальзывание — основные причины рецидивов после классической фундопликации по Ниссену [13].

Сравнительный анализ послеоперационных осложнений выявил статистически значимые различия между группами и представлен в таблице 1.

Сравнение классической и новой методики

Проведенное исследование демонстрирует ряд ключевых преимуществ предложенной модификации робот-ассистированной методики по сравнению с классической лапароскопической фундопликацией.

Эффективность в предотвращении рецидивов: наиболее значимое различие выявлено в частоте рецидивов. В группе классической техники рецидив был диагностирован у 3 (6,25%) пациентов, что согласуется с данными мировой литературы [14–16]. В то же время в исследовательской группе, где применялась фиксация манжеты Z-образными швами, рецидивов за период наблюдения не зафиксировано (0%), что является статистически значимым результатом ($p < 0,05$). Это подтверждает гипотезу о том, что Z-образная фиксация надежнее предотвращает соскальзывание и миграцию манжеты.

Параметр	Исследовательская группа (n = 65)	Контрольная группа (n = 48)	p-value
Средняя продолжительность операции, мин	118,5 ± 15,2	105,7 ± 18,4	>0,05
Интраоперационная кровопотеря, мл	45,2 ± 10,8	52,6 ± 12,3	>0,05
Частота интраоперационных осложнений	0 (0%)	2 (4,2%)*	>0,05
Сроки начала энтерального питания, сутки	1,1 ± 0,3	1,8 ± 0,5	<0,05
Средний срок госпитализации, сутки	4,0 ± 0,5	5,2 ± 1,1	<0,05
Рецидив ГПОД через 6 мес.	0 (0%)	3 (6,25%)	<0,05
Дисфагия через 6 мес.	2 (3,1%)	5 (10,4%)	>0,05

Таблица 1. Сравнительный анализ послеоперационных осложнений
Table 1. Comparative analysis of postoperative complications

Примечание. * В контрольной группе зафиксировано 2 случая интраоперационного повреждения медиастинальной плевры, потребовавшего ушивания.
Note. *The control group observed two cases of intraoperative damage to the mediastinal pleura, which required suturing.

Более короткие сроки реабилитации: несмотря на сопоставимую продолжительность операции, пациенты исследовательской группы статистически значимо раньше начинали энтеральное питание (1,1 vs 1,8 суток, $p < 0,05$) и были выписаны из стационара в среднем на 1,2 дня раньше (4,0 vs 5,2 суток, $p < 0,05$). Это можно объяснить меньшей травматичностью прецизионных робот-ассистированных манипуляций и надежностью конструкции, снижающей послеоперационный отек и дисфагию.

Технические преимущества и безопасность: хотя разница в частоте интраоперационных осложнений не достигла статистической значимости, тенденция к их меньшему количеству в исследовательской группе (0% vs 4,2%) указывает на потенциальные преимущества роботической системы с ее 3D-визуализацией и инструментами с семью степенями свободы для работы в анатомически сложной области.

Мировой опыт хирургического лечения ГПОД демонстрирует следующие тенденции.

- Частота рецидивов после традиционной лапароскопической фундопликации по Ниссену колеблется от 3 до 40% в зависимости от опыта хирурга и техники операции. Представленная методика с Z-образной фиксацией показала 0% рецидивов в течение 6 месяцев наблюдения, что превосходит средние мировые показатели [15, 16].

- Использование сетчатых имплантов при больших дефектах диафрагмы (как в данном случае — 6 см) снижает частоту рецидивов до 0,5–1%. Однако в описанной методике достигнут аналогичный результат без использования сетки, что исключает риск ее миграции и эрозии в пищевод или желудок.

- Продолжительность госпитализации (4 дня) соответствует данным современных исследований, где средний срок составляет 2–7 дней после лапароскопических вмешательств [17–19].

- Фундопликация по Toupet (270°) рекомендуется многими авторами как более физиологичная альтернатива методике Ниссена, так как сохраняет возможность отрыжки и рвотного рефлекса [20, 21]. Однако в данном случае модификация Ниссена с фиксацией манжеты позволила избежать типичных осложнений этой методики.

Преимущества предложенной методики [22]:

- снижение нагрузки на ткани за счет распределения силы натяжения между точками фиксации Z-образными швами;

- профилактика миграции манжеты — основной причины рецидивов после фундопликации;

- минимальная инвазивность робот-ассистированного доступа сокращает сроки реабилитации;

- сохранение физиологичности — несмотря на круговую манжету (360°), фиксация к пищеводу предотвращает развитие синдрома «телескопа».

Несмотря на отличные непосредственные результаты, требуется более длительное наблюдение (5–10 лет) для окончательной оценки эффективности методики, так как часть рецидивов развивается в отдаленном периоде. Также необходимы сравнительные исследования с другими методами антирефлюксных операций.

Представленный случай демонстрирует эффективность модифицированной робот-ассистированной фундопликации по Ниссену с Z-образной фиксацией манжеты при СГПОД 3-й степени. Результаты превосходят средние показатели традиционных методик по частоте рецидивов и срокам реабилитации. Данный подход может быть рекомендован для широкого внедрения в хирургическую практику после проведения дополнительных контролируемых исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное проспективное сравнительное исследование 113 операций, включающее исследовательскую ($n = 65$) и контрольную ($n = 48$) группы, с применением статистического анализа позволило объективно оценить эффективность предложенной методики. Полученные данные убедительно демонстрируют, что робот-ассистированная лапароскопическая фундопликация по Ниссену с применением патента № 2813330 статистически значимо превосходит классическую лапароскопическую технику по ключевым параметрам: снижение частоты рецидивов (0% против 6,25%, $p < 0,05$) и сокращение сроков послеоперационной реабилитации (госпитализация 4,0 против 5,2 суток, $p < 0,05$). Технические преимущества робот-ассистированной хирургии (3D-визуализация, инструменты EndoWrist) в сочетании с предложенным методом фиксации манжеты Z-образными швами обеспечивают прецизионность Z-образными швами обеспечивают надежной антирефлюксной конструкции, что снижает риск интраоперационных осложнений и отдаленных рецидивов. Положительные результаты, которые мы получили, позволяют рассчитывать на то, что предлагаемый способ найдет широкое применение в видеондоскопической хирургии. Для окончательного подтверждения долгосрочной эффективности методики необходимо продолжение наблюдения за прооперированными пациентами и проведение многоцентровых рандомизированных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Баулин В.А., Гуляев А.А., Баулин А.А., БАулина О.А., Аверьянова Л.А., Стародубцев В.А. Отдаленные результаты альтернативной антирефлюксной операции при гастроэзофагеальной рефлюксной болезни и грыже пищеводного отверстия диафрагмы. Медицинский алфавит. 2024;3:50–4. DOI: 10.33667/2078-5631-2024-3-50-54
- 2 Беретарь Р.Б., Сихов Р.Ш., Дурлештер В.М., Свечкарь И.Ю., Быков М.И. Хирургическое лечение грыж пищеводного отверстия диафрагмы традиционным и лапароскопическим методами. Медицинский вестник Северного Кавказа. 2019;14(3):466–8. DOI: 10.14300/mnnc.2019.14112
- 3 Ветшев Ф.П., Черноусов А.Ф., Осминин С.В., Хоробрых Т.В., Чесарева А.А. Робот-ассистированные операции у больных с большими и гигантскими грыжами пищеводного отверстия диафрагмы. Эндоскопическая хирургия. 2019;25(1):5–11. DOI: 10.17116/endoskop2019250115
- 4 Ганков В.А., Шестаков Д.Ю., Андреасян А.Р., Цеймах Е.А. Видеолaparоскопическое оперативное лечение ущемленной параэзофагеальной грыжи пищеводного отверстия диафрагмы (клиническое наблюдение). Acta Biomedica Scientifica. 2023;8(1):204–10. DOI: 10.29413/ABS.2023-8.1.20
- 5 Зябрева И.А., Джулай Т.Е. Грыжи пищеводного отверстия диафрагмы: спорные, нерешенные и перспективные аспекты проблемы (обзор литературы). Верхневолжский медицинский журнал. 2015;14(4):24–8.

- 6 Колесников С.А., Бугаев В.В., Бугаева С.Р., Ефремов М.В., Румбешт В.В. Осложнения хирургического лечения грыж пищеводного отверстия диафрагмы и тактика их устранения. Кубанский научный медицинский вестник. 2024;31(3):30–43. DOI: 10.25207/1608-6228-2024-31-3-30-43
- 7 Мозес В.Г. Роль системного поражения соединительной ткани в генезе варикозного расширения вен малого таза у подростков. Казанский медицинский журнал. 2006;87(2):102–4.
- 8 Розенфельд И.И. Актуальные проблемы хирургического лечения больших и гигантских грыж пищеводного отверстия диафрагмы. Российский медицинский журнал. 2021;27(3):291–8. DOI: 10.17816/0869-2106-2021-27-3-291-298
- 9 Розенфельд И.И. Методы хирургического лечения грыж пищеводного отверстия диафрагмы. Заметки ученого. 2021;11(1):60–2.
- 10 Авзалетдинов А.М., Павлов В.Н., Вильданов Т.Д., Нургудин А.А., Гибадуллин И.А., Мусакаева К.Р. и др. Способ фиксации дна желудка при выполнении робот-ассистированной лапароскопической фундопликации: патент Российская Федерация 2813330С1 от 12.02.2024.
- 11 Тумаренко А.В., Скворцов В.В. Грыжа пищеводного отверстия диафрагмы в практике терапевта. Крымский терапевтический журнал. 2015;4:80–4.
- 12 Хоробрых Т.В., Короткий В.И., Салихов Р.Е., Какоткин Н.П. Хирургическое лечение кардиофундальных и субтотальных грыж пищеводного отверстия диафрагмы с использованием лапароскопического доступа. Московский хирургический журнал. 2018;3(61):142–3.
- 13 Шибельгут Н.М., Захаров И.С., Мозес В.Г. Клинико-биохимические проявления недифференцированных форм дисплазии соединительной ткани у беременных с варикозной болезнью вен малого таза. Саратовский научно-медицинский журнал. 2010;6(1):56–60.
- 14 Clifton M.S., Wulkan M.L. Congenital diaphragmatic hernia and diaphragmatic eventration. Clin Perinatol. 2017;44(4):773–9. DOI: 10.1016/j.clp.2017.08.011
- 15 El-Magd E.A., Elgeidie A., Elmahdy Y., El Sorogy M., Elyamany M.A., Abulazm I.L., et al. Impact of laparoscopic repair on type III/IV giant paraesophageal hernias: a single-center experience. Hernia. 2023;27(6):1555–70. DOI: 10.1007/s10029-023-02851-7
- 16 Frantzides C.T., Carlson M.A., Loizides S., Papafili A., Luu M., Roberts J., et al. Hiatal hernia repair with mesh: a survey of SAGES members. Surg Endosc. 2010;24(5):1017–24. DOI: 10.1007/s00464-009-0718-6
- 17 Herman A., Maiti A., Cherian S.V., Estrada-Y-Martin R.M. Heimlich maneuver-induced diaphragmatic rupture and hiatal hernia. Am J Med Sci. 2018;355(4):e13. DOI: 10.1016/j.amjms.2017.11.009
- 18 Inoue M., Uchida K., Otake K., Nagano Y., Mori K., Hashimoto K., et al. Thoracoscopic repair of congenital diaphragmatic hernia with countermeasures against reported complications for safe outcomes comparable to laparotomy. Surg Endosc. 2016;30(3):1014–9. DOI: 10.1007/s00464-015-4287-6
- 19 Luketich J.D., Raja S., Fernando H.C., Campbell W., Christie N.A., Buenaventura P.O., et al. Laparoscopic repair of giant paraesophageal hernia: 100 consecutive cases. Ann Surg. 2000;232(4):608–18. DOI: 10.1097/0000658-200010000-00016
- 20 Lukman K., Rudiman R., Irawan E., Nugraha P. Laparoscopic surgery of a rare giant paraesophageal hernia: a case report. Int J Surg Open. 2024;62(2):116–20. DOI: 10.1097/IO9.0000000000000041
- 21 Tolboom R.C., Draaisma W.A., Broeders I.A. Evaluation of conventional laparoscopic versus robot-assisted laparoscopic redo hiatal hernia and antireflux surgery: a cohort study. J Robot Surg. 2016;10(1):33–9. DOI: 10.1007/s11701-016-0558-z
- 22 Tyson A.F., Sola R. Jr, Arnold M.R., Cosper G.H., Schulman A.M. Thoracoscopic versus open congenital diaphragmatic hernia repair: single tertiary center review. J Laparoendosc Adv Surg Tech A. 2017;27(11):1209–16. DOI: 10.1089/lap.2017.0298
- 3 Vetshev F.P., Chernousov A.F., Osminin S.V., Khorobrykh T.V., Chesarev A.A. Robot-assisted surgery in patients with giant hiatal hernia. Endoscopic surgery. 2019;25(1):5–11 (In Russ.). DOI: 10.17116/endorskop2019250115
- 4 Gankov V.A., Shestakov D.Yu., Andreyanov A.R., Tseyamakh E.A. Videolaparoscopic surgical treatment of strangulated paraesophageal hiatal hernia (clinical observation). Acta biomedica scientifica. 2023;8(1):204–10. DOI: 10.29413/ABS.2023-8.1.20
- 5 Zybrev I.A., Dzhulay T.E. Hiatal hernia: controversial, unsettled and prospective aspects (literature review). Verkhnevolsky medical journal. 2015;14(4):24–8 (In Russ.).
- 6 Kolesnikov S.A., Bugaev V.V., Bugaeva S.R., Efremov M.V., Rumbesht V.V. Complications of surgical treatment of hiatal hernia and tactics of its elimination: An observational non-randomized study. Kuban Scientific Medical Bulletin. 2024;31(3):30–43 (In Russ.). DOI: 10.25207/1608-6228-2024-31-3-30-43
- 7 Mozes V.G. The role of connective tissue systemic disorders in the genesis of varicose dilation of small pelvis' veins in adolescents. Kazan medical journal. 2006;87(2):102–4 (In Russ.).
- 8 Rozenfeld I.I. Current issues of surgical treatment of large and giant hiatal hernias. Medical journal of the Russian Federation. 2021;27(3):291–8 (In Russ.). DOI: 10.17816/0869-2106-2021-27-3-291-298
- 9 Rozenfeld I.I. Methods of surgical treatment of diaphragm hernias. Notes of a scientist. 2021;11(1):60–2 (In Russ.).
- 10 Avzaletdinov A.M., Pavlov V.N., Vildanov T.D., Nurgudin A.A., Gibadullin I.A., Musakaeva K.R., et al. Method of fixing fundus of stomach when performing robot-assisted laparoscopic fundoplication: Russian Federation patent 2813330C1. 2024 Feb 02 (In Russ.).
- 11 Tumarenko A.V., Skvortsov V.V. Hiatal hernia in therapeutic practice. Crimean Journal of Internal Diseases. 2015;4:80–4 (In Russ.).
- 12 Khorobrykh T.V., Korotkiy V.I., Salikhov R.E., Kakotkin N.P. Surgical treatment of cardiofundal and subtotal hernias of the esophageal opening using a laparoscopic approach. Moscow surgical journal. 2018;3(61):142–3 (In Russ.).
- 13 Shibelgut N.M., Zaharov I.S., Mozes V.G. Clinical and biochemical manifestations of undifferentiated forms of connective tissue dysplasia in pregnant women with varicose veins of small pelvis. Saratov Journal of Medical Scientific Research. 2010;6(1):56–60.
- 14 Clifton M.S., Wulkan M.L. Congenital diaphragmatic hernia and diaphragmatic eventration. Clin Perinatol. 2017;44(4):773–9. DOI: 10.1016/j.clp.2017.08.011
- 15 El-Magd E.A., Elgeidie A., Elmahdy Y., El Sorogy M., Elyamany M.A., Abulazm I.L., et al. Impact of laparoscopic repair on type III/IV giant paraesophageal hernias: a single-center experience. Hernia. 2023;27(6):1555–70. DOI: 10.1007/s10029-023-02851-7
- 16 Frantzides C.T., Carlson M.A., Loizides S., Papafili A., Luu M., Roberts J., et al. Hiatal hernia repair with mesh: a survey of SAGES members. Surg Endosc. 2010;24(5):1017–24. DOI: 10.1007/s00464-009-0718-6
- 17 Herman A., Maiti A., Cherian S.V., Estrada-Y-Martin R.M. Heimlich maneuver-induced diaphragmatic rupture and hiatal hernia. Am J Med Sci. 2018;355(4):e13. DOI: 10.1016/j.amjms.2017.11.009
- 18 Inoue M., Uchida K., Otake K., Nagano Y., Mori K., Hashimoto K., et al. Thoracoscopic repair of congenital diaphragmatic hernia with countermeasures against reported complications for safe outcomes comparable to laparotomy. Surg Endosc. 2016;30(3):1014–9. DOI: 10.1007/s00464-015-4287-6
- 19 Luketich J.D., Raja S., Fernando H.C., Campbell W., Christie N.A., Buenaventura P.O., et al. Laparoscopic repair of giant paraesophageal hernia: 100 consecutive cases. Ann Surg. 2000;232(4):608–18. DOI: 10.1097/0000658-200010000-00016
- 20 Lukman K., Rudiman R., Irawan E., Nugraha P. Laparoscopic surgery of a rare giant paraesophageal hernia: a case report. Int J Surg Open. 2024;62(2):116–20. DOI: 10.1097/IO9.0000000000000041
- 21 Tolboom R.C., Draaisma W.A., Broeders I.A. Evaluation of conventional laparoscopic versus robot-assisted laparoscopic redo hiatal hernia and antireflux surgery: a cohort study. J Robot Surg. 2016;10(1):33–9. DOI: 10.1007/s11701-016-0558-z
- 22 Tyson A.F., Sola R. Jr, Arnold M.R., Cosper G.H., Schulman A.M. Thoracoscopic versus open congenital diaphragmatic hernia repair: single tertiary center review. J Laparoendosc Adv Surg Tech A. 2017;27(11):1209–16. DOI: 10.1089/lap.2017.0298

REFERENCES

- 1 Baulin V.A., Gulyaev A.A., Baulin A.A., Baulina O.A., Averyanova L.A., Starodubtsev V.A. Long-term results of alternative antireflux surgery for gastroesophageal reflux disease and hiatal hernia. Medical Alphabet. 2024;3:50–4 (In Russ.). DOI: 10.33667/2078-5631-2024-3-50-54
- 2 Beretar R.B., Siyukhov R.Sh., Durlshter V.M., Svecchkar I.Yu., Bykov M.I. Surgical treatment of hiatal hernia by routine and laparoscopic methods. Medical News of North Caucasus. 2019;14(3):466–8 (In Russ.). DOI: 10.14300/mnnc.2019.14112
- © Авзалетдинов А.М., Бакиров А.А., Вильданов Т.Д., Мусакаева К.Р., Нургудин А.А., Гибадуллин И.А., Ерин Е.А., Голлобов Г.Ю., 2025
- © Avzaletdinov A.M., Bakirov A.A., Vildanov T.D., Musakaeva K.R., Nurgudin A.A., Gibadullin I.A., Erin S.A., Gololobov G.Yu., 2025

<https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-345-353>

Способы интраоперационной проверки герметичности швов пищеводно-желудочного анастомоза и профилактики энцефалопатии при резекции пищевода по Льюису

Р.А. Сулиманов, А.С. Черных*, Р.Р. Сулиманов, А.А. Акбарова, О.С. Черных, А.В. Ребинок, М.Д. Гатилова

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Россия, Великий Новгород

* **Контакты:** Черных Антон Сергеевич, e-mail: tony-montana-19@yandex.ru

Сулиманов Рушан Абдул-хакович — д.м.н., профессор, кафедра госпитальной хирургии, orcid.org/0000-0003-4345-286X

Черных Антон Сергеевич — аспирант, кафедра госпитальной хирургии, orcid.org/0009-0005-0537-0603

Сулиманов Рамиль Рушанович — к.м.н., кафедра госпитальной хирургии, orcid.org/0000-0002-4173-0435

Акбарова Азиза Анатольевна — аспирант, кафедра госпитальной хирургии, orcid.org/0009-0006-8933-9052

Черных Ольга Сергеевна — ординатор, кафедра госпитальной хирургии, orcid.org/0009-0002-6733-4366

Ребинок Анатолий Владимирович — кафедра морфологии человека, orcid.org/0000-0002-1941-3556

Гатилова Мария Денисовна — студентка 3 курса, лечебный факультет, orcid.org/0009-0006-4946-5505

Аннотация

Введение. Внедрение принципов ERAS-протокола (Esophagectomy Complications Consensus Group) в торакальную хирургию требует обеспечения раннего энтерального питания, в том числе после резекции пищевода по Льюису. Однако высокая частота несостоятельности пищеводно-желудочного анастомоза и послеоперационной энцефалопатии препятствует безопасному применению сиппингового питания, что требует совершенствования методов профилактики этих осложнений. Цель исследования. Оценить эффективность внедренных способов профилактики несостоятельности пищеводно-желудочного анастомоза и энцефалопатии при резекции пищевода по Льюису. **Материалы и методы.** Проведен ретроспективно-проспективный анализ результатов лечения 121 пациента с резекцией пищевода по Льюису. В основной группе ($n = 35$) применены способы профилактики несостоятельности пищеводно-желудочного анастомоза и послеоперационной энцефалопатии, защищенные патентами РФ № 2791399 С1 и № 2810178 С1. Контрольную группу ($n = 86$) составили пациенты, оперированные по стандартной методике. **Результаты.** Применение предложенных способов в основной группе обеспечило стойкое снижение случаев несостоятельности анастомоза (0 % против 4,7 %, $p < 0,05$), статистически значимое снижение общей частоты послеоперационных осложнений (8,6 % против 17,4 %, $p < 0,05$), госпитальной летальности (2,9 % против 12,8 %, $p < 0,05$) и длительности госпитализации (16 ± 3 против 21 ± 4 суток, $p < 0,05$). В основной группе не зарегистрированы признаки послеоперационной энцефалопатии, нарушения сознания, когнитивных функций и лабораторных показателей, ассоциированных с гипераммониемией. **Обсуждение.** Полученные данные подтверждают, что предложенные способы профилактики направлены на ключевые патогенетические механизмы формирования осложнений: несостоятельности анастомоза и энцефалопатии, ассоциированной с портальной гипертензией. Устранение билиарной гипертензии и интраоперационный контроль герметичности анастомоза позволяют безопасно реализовать сиппинговое питание и способствуют сокращению сроков реабилитации. **Заключение.** Применение предложенных способов профилактики несостоятельности анастомоза и послеоперационной энцефалопатии при резекции пищевода по Льюису позволяет обеспечить герметичность швов, избежать метаболических и когнитивных нарушений в раннем послеоперационном периоде и безопасно реализовать сиппинговое питание. Полученные результаты, пусть и не основанные на большом массиве наблюдений, подтверждают патогенетическую обоснованность подхода и обосновывают перспективы его дальнейшего клинического применения.

Ключевые слова: сиппинговое питание, несостоятельность анастомоза, энцефалопатия, пищеводно-желудочный анастомоз, операция Льюиса, интраоперационный контроль, портальная гипертензия

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Данная работа не финансировалась.

Вклад авторов. Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Для цитирования: Сулиманов Р.А., Черных А.С., Сулиманов Р.Р., Акбарова А.А., Черных О.С., Ребинок А.В., Гатилова М.Д. Способы интраоперационной проверки герметичности швов пищеводно-желудочного анастомоза и профилактики энцефалопатии при резекции пищевода по Льюису. Креативная хирургия и онкология. 2025;15(4):345–353. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-345-353>

Поступила в редакцию: 06.10.2025

Поступила после рецензирования и доработки: 17.11.2025

Принята к публикации: 20.11.2025

Intraoperative Methods of Verifying the Integrity of Esophagogastric Anastomosis and Preventing Encephalopathy after Lewis Esophagectomy

Rushan A. Sulimanov — Dr.Sci. (Med.), Prof., Department of Hospital Surgery, orcid.org/0000-0003-4345-286X

Anton S. Chernykh — Post-graduate Student, Department of Hospital Surgery, orcid.org/0009-0005-0537-0603

Ramil R. Sulimanov — Cand. Sci. (Med.), Department of Hospital Surgery, orcid.org/0002-4173-0435

Aziza A. Akbarova — Post-graduate Student, Department of Hospital Surgery, orcid.org/0009-0006-8933-9052

Olga S. Chernykh — Resident, Department of Hospital Surgery, orcid.org/0009-0002-6733-4366

Anatolii V. Rebinok — Department of Human Morphology, orcid.org/0000-0002-1941-3556

Maria D. Gatilova — 3rd year Student, Faculty of Medicine, orcid.org/https://orcid.org/0009-0006-4946-5505

Rushan A. Sulimanov, Anton S. Chernykh, Ramil R. Sulimanov, Aziza A. Akbarova, Olga S. Chernykh, Anatolii V. Rebinok, Maria D. Gatilova*

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russian Federation

*Correspondence to: Anton S. Chernykh, e-mail: tony-montana-19@yandex.ru

Abstract

Introduction. The implementation of ERAS protocol principles (Esophagectomy Complications Consensus Group) in thoracic surgery requires the provision of early enteral nutrition, including after Lewis esophagectomy. However, high incidence of esophagogastric anastomosis failure and postoperative encephalopathy hinders the safe use of sipping feeding, requiring improved methods for preventing these complications. Aim. To evaluate the effectiveness of implemented methods for preventing esophagogastric anastomosis failure and encephalopathy after Lewis esophagectomy. **Materials and methods.** A retrospective-prospective analysis of treatment results is conducted in 121 patients after Lewis esophagectomy. The main group ($n = 35$) underwent methods for preventing esophagogastric anastomosis failure and postoperative encephalopathy, protected by Russian patents No. 2791399 C1 and No. 2810178 C1. The control group ($n = 86$) consisted of patients operated using the standard technique. **Results.** The use of the proposed methods in the main group ensured a stable reduction in the incidence of anastomotic leakage (0 vs 4.7%, $p < 0.05$), including a statistically significant reduction in the overall incidence of postoperative complications (8.6 vs 17.4%, $p < 0.05$), hospital mortality (2.9 vs 12.8%, $p < 0.05$) and duration of hospitalization (16 ± 3 vs 21 ± 4 days, $p < 0.05$). The main group observed no signs of postoperative encephalopathy, impaired consciousness, cognitive functions, or laboratory test values associated with hyperammonemia. **Discussion.** The obtained data confirm the proposed prevention methods aiming at the key pathogenetic mechanisms for the development of complications including anastomotic failure and encephalopathy associated with portal hypertension. Elimination of biliary hypertension and intraoperative monitoring of anastomotic leakage ensure the safe implementation of sipping nutrition and reduce rehabilitation time. **Conclusion.** The use of the proposed methods for preventing anastomotic leakage and postoperative encephalopathy after Lewis esophagectomy ensures the integrity of sutures, prevention of metabolic and cognitive impairment in the early postoperative period, and safe implementation of sipping nutrition. The obtained results confirm the pathogenetic validity of the approach and substantiate the prospects for its further clinical application.

Keywords: sipping feeding, anastomotic leakage, encephalopathy, esophagogastric anastomosis, Lewis esophagectomy, intraoperative monitoring, portal hypertension

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

Sponsorship data. This work is not funded.

Author contributions. The authors contributed equally to this article.

For citation: Sulimanov R.A., Chernykh A.S., Sulimanov R.R., Akbarova A.A., Chernykh O.S., Rebinok A.V., Gatilova M.D. Intraoperative methods of verifying the integrity of esophagogastric anastomosis and preventing encephalopathy after Lewis esophagectomy. *Creative Surgery and Oncology*. 2025;15(4):345–353. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-345-353>

Received: 06.10.2025

Revised: 17.11.2025

Accepted: 20.11.2025

ВВЕДЕНИЕ

Операция Льюиса остается одним из наиболее распространенных и технически сложных вмешательств при раке пищевода, особенно при поражении средней и нижней трети органа [1–4]. Несмотря на развитие анестезиологического обеспечения, совершенствование хирургической техники и внедрение малоинвазивных подходов [5–7], частота послеоперационных осложнений после резекции пищевода по Льюису остается высокой [8]. Наиболее значимыми среди них являются несостоятельность пищеводно-желудочного анастомоза и послеоперационная энцефалопатия, определяющие исход лечения, длительность госпитализации и качество жизни пациентов [8–10].

По данным международных многоцентровых исследований, частота несостоятельности анастомоза составляет от 5 до 15%, а при ее развитии летальность возрастает в 2–3 раза [9, 11]. В многоцентровом обзоре, включающем 267 пациентов, оперированных в ФГБУ «Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П. А. Герцена» в 2005–2020 гг., общая частота послеоперационных осложнений достигала ≈35%, а госпитальная летальность — около 8%. Наиболее частыми осложнениями являлись пневмония (≈20%) и несостоятельность эзофагогастроанастомоза (≈4–5%), а еще ≈3–4% составляли повреждения шва желудочного трансплантата [12].

Особое внимание уделяется несостоятельности анастомоза как одному из самых тяжелых осложнений. По данным одноцентрового ретроспективного анализа, частота шейного анастомозного свища достигала ~18,4%. Летальность среди пациентов с несостоятельностью составила 23%, что значительно выше, чем у больных без этой проблемы [13].

В отечественных сериях, включая наблюдения НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина, НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова и региональных центров, показатель варьирует от 4 до 10%. Несостоятельность анастомоза остается одной из наиболее клинически значимых причин медиастинита, сепсиса и госпитальной летальности, что подчеркивает необходимость разработки надежных способов профилактики [14].

Наряду с этим все чаще описывается еще одно осложнение — послеоперационная энцефалопатия, проявляющаяся нарушениями сознания, когнитивными расстройствами и снижением способности к самостоятельной активности [10, 15]. Ее патогенез связан с изменением топографии гепатодуоденальной связки при перемещении желудочного трансплантата в грудную полость, что приводит к перегibu воротной вены и общего желчного протока, нарушению портального кровотока и развитию печеночной недостаточности. По данным публикаций и собственных наблюдений, после резекции пищевода по Льюису признаки когнитивных нарушений и энцефалопатии различной степени выраженности отмечаются примерно у трети пациентов.

Современные ERAS-программы подчеркивают важность раннего энтерального питания для восстановления слизистого барьера кишечника, профилактики

катаболизма и инфекционных осложнений [16–20]. Однако клиницисты часто воздерживаются от его раннего начала из-за риска повышения давления в зоне анастомоза и его несостоятельности. Следовательно, актуальной задачей является создание способов, обеспечивающих надежную герметичность швов, контролируемую декомпрессию желудочного трансплантата и безопасное начало перорального питания [9].

На базе торакального отделения Новгородской областной клинической больницы и кафедры госпитальной хирургии ФГБОУ ВО «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого» были разработаны и внедрены способы профилактики послеоперационных осложнений при резекции пищевода по Льюису, основанные на сочетании двух технических решений, защищенных патентами Российской Федерации [20, 21]. Данные способы направлены на комплексное решение двух ключевых задач: предупреждение несостоятельности анастомоза за счет интраоперационной проверки герметичности швов и как оптимизацию гемодинамики в системе воротной вены, так и устранение гипертензии в желчном протоке для профилактики энцефалопатии.

Цель исследования — оценить эффективность внедренных способов профилактики несостоятельности пищеводно-желудочного анастомоза и энцефалопатии при резекции пищевода по Льюису.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ретроспективное исследование выполнено на базе торакального отделения Новгородской областной клинической больницы в период 2004–2021 гг. — 86 пациентов, оперированных стандартным методом без применения профилактических мероприятий.

Проспективная группа (основная) — 35 пациентов, в период 2021–2024 гг., у которых применены способы профилактики несостоятельности анастомоза и послеоперационной энцефалопатии, основанные на технических решениях, защищенных патентами РФ № 2791399 С1 и № 2810178 С1 [20, 21].

Работа одобрена локальным этическим комитетом. Все пациенты дали информированное согласие на участие в исследовании.

Проведен сравнительный ретроспективно-проспективный анализ результатов хирургического лечения 121 пациента со злокачественными новообразованиями пищевода, перенесших операцию Льюиса с формированием внутригрудного пищеводно-желудочного анастомоза.

Критерии включения:

- 1) возраст > 18 лет;
- 2) выполнение радикальной операции Льюиса с формированием внутригрудного эзофагогастроанастомоза;
- 3) наличие полных клинико-лабораторных данных за интра- и ранний послеоперационный периоды.

Критерии исключения:

- 1) повторные вмешательства до формирования анастомоза;
- 2) сопутствующие заболевания печени IV степени по Child–Pugh;

3) отсутствие ключевых лабораторных данных или неполные медицинские записи.

Все вмешательства выполнялись через торакоабдоминальный доступ с формированием внутригрудного эзофагогастроанастомоза ручным однорядным швом. Предоперационная подготовка, анестезиологическое обеспечение и базовые принципы послеоперационного ведения были одинаковыми в обеих группах.

Этап профилактики энцефалопатии (патент RU 2791399 С1)

На абдоминальном этапе операции, после пересечения левой треугольной связки печени, дополнительно пересекали круглую связку печени, смещали печень и фиксировали ее к передней брюшной стенке на 5–7 см левее первоначальной точки прикрепления.

Этот прием восстанавливает анатомическую ось гепатодуоденальной связки, предупреждая перегиб воротной вены и общего желчного протока, тем самым нормализуя портальный кровоток и уменьшая риск развития печеночной недостаточности и послеоперационной энцефалопатии.

Этап профилактики несостоятельности пищевода-желудочного анастомоза (патент RU 2810178 С1)

После формирования пищевода-желудочного анастомоза в просвет желудочного трансплантата устанавливали индивидуальный назогастральный зонд с боковыми отверстиями, сформированными в соответствии с размерами трансплантата.

Проксимальное отверстие зонда располагали на 3 см ниже линии анастомоза. Через зонд вводили 150–350 мл 0,9% раствора хлорида натрия, окрашенного

раствором бриллиантовой зелени, после чего под визуальным контролем оценивали герметичность швов и отсутствие микроподтеканий.

При обнаружении дефекта накладывались дополнительные серозно-мышечные швы.

Сразу после операции зонд использовали как аспирационно-декомпрессионную систему. После каждого приема пищи он перекрывался на 2 ч, затем подключался к системе по Редону для удаления содержимого и снижения давления в зоне анастомоза.

Раннее сиппинговое питание назначалось с первых суток после операции: 100 мл 7 раз в сутки с постепенным увеличением объема до 1200–1400 мл в течение 10 дней. Для оценки функционального состояния печени и центральной нервной системы использовались следующие показатели:

1) концентрация аммиака, общего и прямого билирубина, аланинаминотрансферазы (АЛТ), аспаргатаминотрансферазы (АСТ), лактатдегидрогеназы (ЛДГ) и щелочной фосфатазы;

2) когнитивные тесты: шкала West Haven, шкала Глазго, тест Струпа, тест критической частоты слияния мерцаний, SCAN-тест.

Энцефалопатия диагностировалась при наличии \geq II степени по шкале West Haven либо лабораторных признаков гипераммониемии.

Количественные данные представлены в виде среднего \pm стандартного отклонения (SD) и диапазона (min-max) (табл. 1), категориальные — в виде абсолютных и относительных значений, n (%).

Сравнение групп проводили с использованием критерия Стьюдента для независимых выборок и точного критерия Фишера для категориальных переменных.

Различия считались статистически значимыми при уровне $p < 0,05$.

Клинические данные включают как ретроспективную ($n = 86$), так и проспективную ($n = 35$) группы до и после внедрения способов профилактики несостоятельности анастомоза и энцефалопатии.

РЕЗУЛЬТАТЫ

После внедрения способов профилактики несостоятельности анастомоза и послеоперационной энцефалопатии отмечено достоверное улучшение как клинических, так и лабораторных показателей в раннем послеоперационном периоде.

Сравнительный анализ между контрольной и основной группами (табл. 2) показал существенное снижение числа послеоперационных осложнений.

Несостоятельность пищевода-желудочного анастомоза, наблюдавшаяся у 4 (4,7%) больных до внедрения способов, не была зарегистрирована ни в одном случае после ее применения ($p < 0,05$).

Общая частота осложнений по классификации Clavien-Dindo \geq II снизилась почти вдвое — с 17,4 до 8,6% ($p < 0,05$).

Госпитальная летальность уменьшилась с 12,8 до 2,9% ($p < 0,05$).

Средняя длительность пребывания в стационаре сократилась с 21 ± 4 до 16 ± 3 суток ($p < 0,05$).

Показатель	Среднее \pm SD	Min–Max / n (%)
Возраст, лет	60,6 \pm 8,0	42–95
Пол: мужчины / женщины	—	106 (87,5 %) / 15 (12,5 %)
Индекс массы тела, кг/м ²	22,3 \pm 4,2	16,5–50,8
Локализация опухоли: нижняя / средняя треть	—	73 (60 %) / 48 (40 %)
Время операции, ч	4,38 \pm 0,61	3,25–6,15
Периоперационная кровопотеря, мл	282 \pm 130	50–600
Интраоперационная инфузия, мл	2402 \pm 612	1500–4000
Гемоглобин предоперационный, г/л	140,7 \pm 14,5	101–168
Тяжелые осложнения (Clavien–Dindo \geq IIIa)	—	15 (17,4 %)
Несостоятельность анастомоза	—	4 (4,7 %)
Легочные осложнения	—	Пневмония — 2 (2,3 %); Эмпиема — 2 (2,3 %); Пневмоторакс — 2 (2,3 %)
Плевральный выпот	—	8 (9,3 %)
Другие осложнения	—	4 (4,7 %)
Госпитальная летальность	—	11 (12,8 %)
Госпитализация > 21 день	—	46 (53,5 %)

Таблица 1. Уровень TREC и KREC
Table 1. TREC and KREC level

Примечание. Значения представлены в виде среднего \pm стандартного отклонения или n (%).

Показатель	До внедрения (n = 86)	После внедрения (n = 35)	p
Несостоятельность анастомоза	4 (4,7 %)	0 (0 %)	<0,05
Осложнения Clavien-Dindo \geq II	15 (17,4 %)	3 (8,6 %)	<0,05
Госпитальная летальность	11 (12,8 %)	1 (2,9 %)	<0,05
Средняя длительность госпитализации, сут	21 \pm 4	16 \pm 3	<0,05
Госпитализация > 21 сут	46 (53,5 %)	5 (15,3 %)	<0,05

Таблица 2. Клинические результаты до и после внедрения способов
Table 2. Clinical results before and after the implementation of methods

Показатель	1-е сутки	5-е сутки	Контрольная группа (1-е сутки)
Общий билирубин, мкмоль/л	22 \pm 4	18 \pm 3	80 \pm 10
Прямой билирубин, мкмоль/л	8 \pm 2	5 \pm 1	24 \pm 6
АЛТ, Ед/л	27 \pm 6	25 \pm 5	46 \pm 9
АСТ, Ед/л	29 \pm 5	28 \pm 4	49 \pm 8
Аммиак, мкмоль/л	33 \pm 5	29 \pm 4	74 \pm 12
Щелочная фосфатаза, Ед/л	88 \pm 12	81 \pm 9	143 \pm 21

Таблица 3. Динамика лабораторных показателей функции печени
Table 3. Dynamics of liver function test values

В проспективной группе не выявлено признаков печеночной дисфункции, что подтверждается нормализацией биохимических маркеров и отсутствием гиперамониемии (табл. 3).

Как видно, значения билирубина и трансаминаз в основной группе не превышали референтных пределов и имели тенденцию к снижению уже к 5-м суткам, что указывает на сохранение гепатопортальной перфузии. Уровень аммиака во всех наблюдениях оставался \leq 35 мкмоль/л, что свидетельствует об отсутствии метаболических нарушений, ассоциированных с энцефалопатией.

Психометрическая оценка по шкале West Haven не выявила энцефалопатии у пациентов проспективной группы: у всех больных показатели соответствовали 0–I степени.

Для сравнения, в контрольной группе признаки энцефалопатии II–III степени отмечались у 18 % больных, что сопровождалось замедленной активизацией и поддержкой перехода на самостоятельное питание.

В тестах критической частоты слияния мерцаний и SCAN-тесте у пациентов, оперированных по новым способам, показатели когнитивной скорости и внимания соответствовали норме.

Ни в одном случае не отмечено нарушений ориентации, заторможенности или астенического синдрома, что согласуется с биохимическими данными.

Отсутствие несостоятельности анастомоза позволило начать сиппинговое питание с первых суток после операции, с последующим постепенным увеличением объема.

Пациенты самостоятельно контролировали аспирационно-декомпрессионный дренаж, что способствовало ранней активизации.

У 3 пациентов отмечалось кратковременное нарушение пассажа через желудочный трансплантат, купированное консервативно без последствий.

Не было зарегистрировано случаев медиастинита, эмпиемы плевры.

Обобщение результатов:

- Полное отсутствие несостоятельности анастомоза после внедрения способов;
- Двукратное снижение числа послеоперационных осложнений;
- Пятикратное снижение летальности (с 12,8 % до 2,9 %);
- Сокращение госпитализации на 5 суток;
- Отсутствие лабораторных и психометрических признаков энцефалопатии.

Таким образом, способы профилактики, включающие положения патентов RU 2791399 C1 и RU 2810178 C1, доказали клиническую и лабораторную эффективность, обеспечив полное устранение двух наиболее значимых осложнений: несостоятельности анастомоза и энцефалопатии.

ОБСУЖДЕНИЕ

Несостоятельность пищеводно-желудочного анастомоза остается одной из наиболее клинически значимых проблем после эзофагэктомии, несмотря на десятилетия совершенствования хирургической техники. Частота утечек при внутригрудных анастомозах составляет 5–15 %, а летальность при их развитии возрастает в 2–3 раза [4, 8, 9].

Отечественные авторы сообщают о частоте несостоятельности 4–10 %, подчеркивая, что даже при строгом соблюдении хирургической техники риск сохраняется [3, 12, 13].

Причины несостоятельности носят многофакторный характер: локальная ишемия стенки трансплантата [3, 8, 22–24], повышение внутрипросветного давления [22–24], натяжение анастомоза [3, 9, 22], нарушение микроциркуляции [3, 8, 25], несвоевременное начало питания [24].

Даже минимальное нарушение герметичности швов способно привести к медиастиниту, эмпиеме плевры и тяжелой септической реакции [3, 8, 9, 13].

Именно поэтому контроль герметичности анастомоза и декомпрессия зоны анастомоза являются определяющими в профилактике несостоятельности эзофагогастроанастомоза в раннем послеоперационном периоде. Предложенные способы профилактики, основанные на сочетании патентов RU 2791399 С1 и RU 2810178 С1, объединяют два взаимодополняющих направления:

1) техническое обеспечение герметичности анастомоза; 2) физиологическую коррекцию портального кровотока, оттока желчи и профилактику энцефалопатии.

Интраоперационный контроль герметичности анастомоза осуществлялся путем введения в желудочный трансплантат окрашенного раствора в объеме, втрое превышающем средний планируемый объем энтерального питания в раннем послеоперационном периоде. Это исключает микроподтекания, которые могли бы остаться незамеченными при стандартных методах (эндоскопическая инсuffляция, баллонные тесты).

Кроме того, аспирационно-декомпрессионное дренирование по Редону обеспечивает контролируемое снижение давления в зоне анастомоза, устраняя один из ключевых факторов ишемизации стенки.

Параллельно, мобилизация и фиксация круглой связки печени предотвращает перегиб воротной вены и общего желчного протока, восстанавливая нормальную ось гепатодуоденальной связки.

Таким образом, способы формируют двойной уровень защиты: локальный (анастомотический) и системный (гемодинамический), что обоснованно с точки зрения патофизиологии и подтверждается лабораторными данными: стабильные показатели билирубина, АЛТ/АСТ и отсутствие гипераммониемии.

В мировой практике применяются различные интраоперационные методы проверки герметичности анастомоза: жидкостные тесты с метиленовым синим (в т. ч. с использованием баллонных катетеров) [22, 26] и оценка перфузии трансплантата с помощью флуоресцентной ангиографии на ICG [27, 28].

Однако большинство из них требуют специализированного оборудования и не всегда отражают истинное состояние швов при естественном давлении [27, 29].

Предложенные способы отличаются простотой, низкой себестоимостью и воспроизводимостью: для их выполнения достаточно стандартного операционного инструментария и физиологического раствора с красителем.

Преимущества способов заключается также в том, что они не требуют расширения объема операции или увеличения времени вмешательства.

В отличие от эндоскопического теста способ окрашенного раствора обеспечивает реальную нагрузку на шов при сохранении герметичности, а последующее аспирационно-декомпрессионное дренирование предотвращает ишемию тканей трансплантата и повышенное давление в анастомозе.

Согласно данным ведущих научных центров частота анастомотических осложнений после резекции пищевода колеблется в пределах 9–12% [5–15]. В то же время

применение отечественных разработанных способов позволило полностью исключить случаи несостоятельности анастомоза (0%), что сопоставимо или превосходит данные ведущих центров.

Подобная динамика подтверждает, что сочетание интраоперационного теста, декомпрессии и раннего сиппингового питания создает безопасные условия для анастомоза.

Раннее пероральное питание, реализуемое в рамках данных способов, обеспечивает физиологическое включение механизмов пристеночного и мембранного пищеварения, улучшает перфузию органов брюшной полости и способствует более быстрой нормализации метаболизма.

Это согласуется с результатами исследований, показавших преимущества раннего энтерального питания по сравнению с парентеральным после эзофагэктомии [16–20], в частности снижение частоты септических осложнений и более быстрое восстановление функции ЖКТ. Эти выводы подтверждаются современными данными ERAS-протоколов, согласно которым раннее энтеральное питание предпочтительно и физиологически обосновано.

Отсутствие энцефалопатии у пациентов основной группы имеет не только клиническое, но и патогенетическое значение.

Нормализация портального кровотока и устранение гипертензии в желчном протоке [30] вследствие коррекции топографии печени предотвращает застой в системе воротной вены, улучшает печеночную детоксикацию и снижает уровень аммиака.

Тем самым устраняется ключевое звено в развитии печеночной энцефалопатии, что подтверждается отсутствием когнитивных нарушений по шкале West Haven и нормальными биохимическими показателями.

Способы не требуют дополнительного оборудования, что делает их применимыми в условиях большинства хирургических стационаров.

Их внедрение позволило сократить сроки госпитализации на 25%, снизить потребность в парентеральном питании и уменьшить нагрузку на медицинский персонал. То есть способы обладают не только клинической, но и экономической эффективностью, что соответствует современным принципам ERAS-хирургии.

Таким образом, анализ полученных данных и сравнение с литературой свидетельствуют о том, что предложенные способы профилактики несостоятельности анастомоза и энцефалопатии при резекции пищевода по Льюису являются патогенетически обоснованными, технически простыми и клинически эффективными.

Способы сочетают надежность интраоперационного контроля с физиологическим восстановлением микроциркуляции и детоксикационной функции печени, обеспечивая снижение осложнений и улучшение исходов хирургического лечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедренные способы профилактики несостоятельности пищеводно-желудочного анастомоза и послеоперационной энцефалопатии при резекции пищевода

по Льюису, основанные на положениях патентов RU 2810178 C1 и RU 2791399 C1, подтвердили свою клиническую эффективность и безопасность. Комплекс предложенных способов позволил не только повысить надежность хирургического вмешательства, но и оптимизировать послеоперационный период, снизив частоту осложнений и улучшив функциональные результаты лечения.

Интраоперационный контроль герметичности анастомоза с помощью окрашенного раствора обеспечил полное исключение случаев несостоятельности швов и достоверное снижение общей частоты осложнений по классификации Clavien-Dindo ($\geq II$) — с 17,4 до 8,6% ($p < 0,05$).

Важным дополнением к этому стало использование способа профилактики энцефалопатии путем мобилизации и фиксации круглой связки печени, что позволило сохранить нормальный портальный кровоток. Отсутствие признаков гипераммониемии и когнитивных нарушений по шкале West Haven свидетельствует о стабильном функционировании детоксикационных систем печени и адекватной церебральной перфузии в послеоперационном периоде.

Клиническая реализация данных способов способствовала значительному сокращению сроков госпитализации — с 21 ± 4 до 16 ± 3 суток ($p < 0,05$), снижению госпитальной летальности с 12,8 до 2,9%, а также увеличению доли пациентов, переведенных на самостоятельное энтеральное питание, до 100%. Эти показатели отражают не только клиническую, но и экономическую эффективность подхода, полностью соответствующую современным принципам ERAS-хирургии.

Способы не требуют дополнительного оборудования, просты в воспроизведении и могут быть внедрены в практику любого торакального отделения, что делает их универсальным инструментом повышения качества хирургической помощи.

Полученные результаты, пусть и не основанные на большом массиве клинических наблюдений, тем не менее подтверждают патогенетическую обоснованность способов, направленных на контроль герметичности анастомоза и поддержание адекватной микроциркуляции в зоне желудочного трансплантата, что открывает перспективы для дальнейших мультицентровых исследований и расширения клинического применения.

Статья написана к II Евразийскому конгрессу торакальных хирургов 5–7 декабря 2025 г., Уфа.

This article was prepared for the 2nd Eurasian Congress of Thoracic Surgeons, December 5–7, 2025, Ufa, Russia.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Luketich J.D., Pennathur A., Awais O., Levy R.M., Keeley S., Shende M., [et al.] Outcomes after minimally invasive esophagectomy: review of over 1000 patients. *Ann Surg.* 2012;256(1):95–103. DOI: 10.1097/SLA.0b013e3182590603
- Тулетаева З.К., Хамзин А.Х., Жакенова Ж.К., Касымбекова Г., Бурхан Н., Мусаев Н. Лучевая диагностика послеоперационных осложнений после субтотальной резекции и пластики пищевода по типу Льюиса и лимфодиссекции. *Вестник Казахского национального медицинского университета.* 2012;1:308–11.
- Yuan M., Bao Y., Ma Z., Men Y., Wang Y., Hui Z. The optimal treatment for resectable esophageal cancer: a network meta-analysis of 6168 patients. *Front Oncol.* 2021;11:628706. DOI: 10.3389/fonc.2021.628706
- Урмонов У.Б., Добродеев А.Ю., Афанасьев С.Г., Августинович А.В., Черемисина О.В. Современные аспекты лечения рака пищевода. *Сибирский онкологический журнал.* 2019;18(4):78–84. DOI: 10.21294/1814-4861-2019-18-4-78-84
- Левченко Е.В., Дворецкий С.Ю., Карачун А.М., Щербаков А.М., Комаров И.В., Пелипась Ю.В. и др. Миниинвазивные технологии в комплексном лечении рака пищевода. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова.* 2015;2:30–6. DOI: 10.17116/hirurgia2015230-36
- Авзалетдинов А.М., Павлов В.Н., Вильданов Т.Д., Гимазова А.И., Здорик Н.А., Мусакаева К.Р. Первая робот-ассистированная пластика по Льюису с ручным внутриплевральным анастомозом при рубцовом стенозе пищевода. *Креативная хирургия и онкология.* 2023;13(3):191–7. DOI: 10.24060/2076-3093-2023-13-3-191-197
- Аллахвердян А.С., Анипченко С.Н. Методика лапароторакоскопической эзофагэктомии по типу Ivor Lewis с неаппаратным пищеводно-желудочным внутриплевральным анастомозом. *Хирургия. Журнал имени Н.И. Пирогова.* 2020;9:5–13. DOI: 10.17116/hirurgia20200915
- Kleverb F., Boshier P.R., Low D.E. Application of standardized hemodynamic protocols within enhanced recovery after surgery programs to improve outcomes associated with anastomotic leak and conduit necrosis in patients undergoing esophagectomy. *J Thorac Dis.* 2019;11(Suppl 5):S692–701. DOI: 10.21037/jtd.2018.11.141
- Peters A.K., Juratli M.A., Roy D., Merten J., Fortmann L., Pascher A., et al. Factors influencing postoperative complications following minimally invasive Ivor Lewis esophagectomy: a retrospective cohort study. *J Clin Med.* 2023 Aug 31;12(17):5688. DOI: 10.3390/jcm12175688
- Housman B., Lee D.-S., Flores R. A narrative review of anastomotic leak in the Ivor Lewis esophagectomy: expected, accepted, but preventable. *Transl Cancer Res.* 2023;12(9):2405–19. DOI: 10.21037/tcr-23-515
- Takeuchi M., Takeuchi H., Fujisawa D., Miyajima K., Yoshimura K., Hashiguchi S., et al. Incidence and risk factors of postoperative delirium in patients with esophageal cancer. *Ann Surg Oncol.* 2012;19(12):3963–70. DOI: 10.1245/s10434-012-2432-1
- Low D.E., Alderson D., Ceccanello I., Chang A.C., Darling G.E., D'Journo X.B., et al. International consensus on standardization of data collection for complications associated with esophagectomy: Esophagectomy Complications Consensus Group (ECCG). *Ann Surg.* 2015;262(2):286–94. DOI: 10.1097/SLA.0000000000001098
- Рябов А.Б., Хомяков В.М., Соболев Д.Д., Колобаев И.В., Чайка А.В., Вашакмадзе Л.А. и др. Непосредственные результаты хирургического и комбинированного лечения больных раком грудного отдела пищевода. *Онкология. Журнал им. П.А. Герцена.* 2021;10(6):19–28. DOI: 10.17116/onkolog20211006118
- Тонеев Е.А., Пикин О.В., Александров О.А. Факторы риска несостоятельности анастомоза после эзофагэктомии по McKeown: односторонний ретроспективный анализ. *Вестник хирургии им. И.И. Грекова.* 2024;183(1):15–22. DOI: 10.24884/0042-4625-2024-183-1-15-22
- Дворецкий С.Ю., Левченко Е.В., Карачун А.М., Хандогин Н.В. Минимально-инвазивная эзофагэктомия в хирургическом лечении рака пищевода. *Вестник хирургии им. И.И. Грекова.* 2015;174(5):108–14.
- Khan S.H., Lindroth H., Jawed Y., Wang S., Nasser J., Seyffert S., et al. Serum biomarkers in postoperative delirium after esophagectomy. *Ann Thorac Surg.* 2022;113(3):1000–7. DOI: 10.1016/j.athoracsurg.2021.03.035
- Sierzega M., Choruz R., Pietruszka S., Kulig P., Kolodziejczyk P., Kulig J. Feasibility and outcomes of early oral feeding after total gastrectomy for cancer. *J Gastrointest Surg.* 2015;19(3):473–9. DOI: 10.1007/s11605-014-2720-0
- Chen K.-N. Managing complications I: leaks, strictures, emptying, reflux, chylothorax. *J Thorac Dis.* 2014;6(Suppl 3):S355–63. DOI: 10.3978/j.issn.2072-1439.2014.03.36
- Kamaleddine I., Hendricks A., Popova M., Schafmayer C. Adequate management of postoperative complications after esophagectomy: a cornerstone for a positive outcome. *Cancers (Basel).* 2022;14(22):5556. DOI: 10.3390/cancers14225556
- Jiang Z., Luo J., Xu M., Cong Z., Ji S., Diao Y., et al. Safety analysis of early oral feeding after esophagectomy in patients complicated with diabetes. *J Cardiothorac Surg.* 2021;16(1):56. DOI: 10.1186/s13019-021-01410-4

- 21 Сулиманов Р.А., Сулиманов Р.Р., Черных А.С., Гаврилов И.А., Толстоброва О.С., Азовцева О.В., Наджафли Ш.К. Способ профилактики энцефалопатии после резекции пищевода с внутригрудным эзофагогастроанастомозом по Льюису: патент Российская Федерация 2791399 C1 от 07.03.2023.
- 22 Сулиманов Р.А., Сулиманов Р.Р., Черных А.С., Толстоброва О.С., Вебер В.Р., Суковаткин С.И., Шестакова Е.Ю. Способ профилактики несостоятельности пищеводно-желудочного анастомоза: патент Российской Федерации 2810178C1 от 22.12.2023.
- 23 Deng C., Liu Y., Zhang Z.-Y., Qi H.-D., Guo Z., Zhao X., et al. How to examine anastomotic integrity intraoperatively in totally laparoscopic radical gastrectomy? Methylene blue testing prevents technical defect-related anastomotic leaks. *World J Gastrointest Surg.* 2022;14(4):315–28. DOI: 10.4240/wjgs.v14.i4.315
- 24 Gritsiuta A.I., Esper C.J., Parikh K., Parupudi S., Petrov R.V. anastomotic leak after esophagectomy: modern approaches to prevention and diagnosis. *Cureus.* 2025;17(3):e80091. DOI: 10.7759/cureus.80091
- 25 Fabbi M., Hagens E.R.C., van Berge Henegouwen M.I., Gisbertz S.S. Anastomotic leakage after esophagectomy for esophageal cancer: definitions, diagnostics, and treatment. *Dis Esophagus.* 2021;34(1):doaa039. DOI: 10.1093/dote/doaa039
- 26 Шестаков А.Л., Шахбанов М.Э., Битаров Т.Т., Безалтынных А.А. Способ интраоперационной оценки герметичности анастомоза при реконструктивных операциях на пищеводе: патент Российская Федерация 2718297 C1 от 01.04.2020.
- 27 Лядов В.К., Гамаюнов С.В., Каров В.А., Эйнуллаева Т.Р. Оценка кровоснабжения желудочного трансплантата с помощью флуоресцентной ангиографии с индоцианином зеленым при онкологических резекциях пищевода. *Вопросы онкологии.* 2019;65(1):94–8. DOI: 10.37469/0507-3758-2019-65-1-94-98
- 28 Zehetner J., DeMeester S.R., Alicuben E.T., Oh D.S., Lipham J.C., Hagen J.A., et al. Intraoperative assessment of perfusion of the gastric graft and correlation with anastomotic leaks after esophagectomy. *Ann Surg.* 2015;262(1):74–8. DOI: 10.1097/SLA.0000000000000811
- 29 Turner S.R., Molena D.R. The role of intraoperative fluorescence imaging during esophagectomy. *Thoracic Surg Clin.* 2018;28(4):567–71. DOI: 10.1016/j.thorsurg.2018.07.009
- 30 Винниченко И.А. Пути предупреждения некоторых осложнений операции Льюиса у больных раком пищевода: морфофункциональное обоснование, экспериментальная апробация и результаты клинического внедрения. Киев; 1991.
- 9 Peters A.K., Juratli M.A., Roy D., Merten J., Fortmann L., Pascher A., et al. Factors influencing postoperative complications following minimally invasive Ivor Lewis esophagectomy: a retrospective cohort study. *J Clin Med.* 2023 Aug 31;12(17):5688. DOI: 10.3390/jcm12175688
- 10 Housman B., Lee D.-S., Flores R. A narrative review of anastomotic leak in the Ivor Lewis esophagectomy: expected, accepted, but preventable. *Transl Cancer Res.* 2023;12(9):2405–19. DOI: 10.21037/tcr-23-515
- 11 Takeuchi M., Takeuchi H., Fujisawa D., Miyajima K., Yoshimura K., Hashiguchi S., et al. Incidence and risk factors of postoperative delirium in patients with esophageal cancer. *Ann Surg Oncol.* 2012;19(12):3963–70. DOI: 10.1245/s10434-012-2432-1
- 12 Low D.E., Alderson D., Ceccanello I., Chang A.C., Darling G.E., D'Journo X.B., et al. International consensus on standardization of data collection for complications associated with esophagectomy: Esophagectomy Complications Consensus Group (ECCG). *Ann Surg.* 2015;262(2):286–94. DOI: 10.1097/SLA.0000000000001098
- 13 Ryabov A.B., Khomyakov V.M., Sobolev D.D., Kolobaev I.V., Chayka A.V., Vashakmadze L.A., et al. Immediate results of surgical and combined treatment in patients with thoracic esophageal cancer. *P.A. Herzen Journal of Oncology.* 2021;10(6):19–28 (In Russ.). DOI: 10.17116/onkolog20211006118
- 14 Toneev E.A., Pikin O.V., Aleksandrov O.A. Risk factors for anastomotic leakage following McKeown esophagectomy: a single-center retrospective analysis. *Grekov's Bulletin of Surgery.* 2024;183(1):15–22 (In Russ.). DOI: 10.24884/0042-4625-2024-183-1-15-22
- 15 Dvoretzkiy S.Yu., Levchenko E.V., Karachun A.M., Khandogin N.V. Minimally invasive esophagectomy in the surgical treatment of esophageal cancer. *Grekov's Bulletin of Surgery.* 2015;174(5):108–14 (In Russ.).
- 16 Khan S.H., Lindroth H., Jawed Y., Wang S., Nasser J., Seyffert S., et al. Serum biomarkers in postoperative delirium after esophagectomy. *Ann Thorac Surg.* 2022;113(3):1000–7. DOI: 10.1016/j.athorac-surg.2021.03.035
- 17 Sierzega M., Choruz R., Pietruszka S., Kulig P., Kolodziejczyk P., Kulig J. Feasibility and outcomes of early oral feeding after total gastrectomy for cancer. *J Gastrointest Surg.* 2015;19(3):473–9. DOI: 10.1007/s11605-014-2720-0
- 18 Chen K.-N. Managing complications I: leaks, strictures, emptying, reflux, chylothorax. *J Thorac Dis.* 2014;6(Suppl 3):S355–63. DOI: 10.3978/j.issn.2072-1439.2014.03.36
- 19 Kamaledine I., Hendricks A., Popova M., Schafmayer C. Adequate management of postoperative complications after esophagectomy: a cornerstone for a positive outcome. *Cancers (Basel).* 2022;14(22):5556. DOI: 10.3390/cancers14225556
- 20 Jiang Z., Luo J., Xu M., Cong Z., Ji S., Diao Y., et al. Safety analysis of early oral feeding after esophagectomy in patients complicated with diabetes. *J Cardiothorac Surg.* 2021;16(1):56. DOI: 10.1186/s13019-021-01410-4
- 21 Sulimanov R.A., Sulimanov R.R., Chernykh A.S., Gavrilo I.A., Tolstobrova O.S., Azovtseva O.V., Nadjafl Sh.K. Method for prevention of encephalopathy after resection of esophagus with intrathoracic oesophagogastric anastomosis according to Lewis: Russian Federation patent 2791399 C1. 2023 March 07 (In Russ.).
- 22 Sulimanov R.A., Sulimanov R.R., Chernykh A.S., Tolstobrova O.S., Veber V.R., Sukovatkin S.I., Shestakova E.Yu. Method for preventing leakage of the esophagogastric anastomosis: Russian Federation patent 2810178 C1. 2023 Dec 22 (In Russ.).
- 23 Deng C., Liu Y., Zhang Z.-Y., Qi H.-D., Guo Z., Zhao X., et al. How to examine anastomotic integrity intraoperatively in totally laparoscopic radical gastrectomy? Methylene blue testing prevents technical defect-related anastomotic leaks. *World J Gastrointest Surg.* 2022;14(4):315–28. DOI: 10.4240/wjgs.v14.i4.315
- 24 Gritsiuta A.I., Esper C.J., Parikh K., Parupudi S., Petrov R.V. anastomotic leak after esophagectomy: modern approaches to prevention and diagnosis. *Cureus.* 2025;17(3):e80091. DOI: 10.7759/cureus.80091
- 25 Fabbi M., Hagens E.R.C., van Berge Henegouwen M.I., Gisbertz S.S. Anastomotic leakage after esophagectomy for esophageal cancer: definitions, diagnostics, and treatment. *Dis Esophagus.* 2021;34(1):doaa039. DOI: 10.1093/dote/doaa039
- 26 Shestakov A.L., Shakhbanov M.E., Bitarov T.T., Bezalтынных A.A. Method for intraoperative assessment of anastomosis tightness during reconstructive operations on oesophagus: Russian Federation patent 2718297 C1. 2020 April 01 (In Russ.).
- 27 Lyadov V.K., Gamajunov S.V., Karov V.A., Einullaeva T.R. Evaluation of gastric conduit blood supply with fluorescent angiography with indocyanine green after esophagectomy for cancer. *Problems in*

REFERENCES

- 1 Luketich J.D., Pennathur A., Awais O., Levy R.M., Keeley S., Shende M., et al. Outcomes after minimally invasive esophagectomy: review of over 1000 patients. *Ann Surg.* 2012;256(1):95–103. DOI: 10.1097/SLA.0b013e3182590603
- 2 Tuleutaeva Z.K., Khamzin A.H., Zhakenova J.K., Kasymbekova G., Burhan N., Musaev N. Radiological diagnosis of postoperative complications after subtotal resection and plastic of the esophagus by the type of Lewis and lymphadenectomy. *Vestnik KazGMU.* 2012;1:308–11 (In Russ.).
- 3 Yuan M., Bao Y., Ma Z., Men Y., Wang Y., Hui Z. The optimal treatment for resectable esophageal cancer: a network meta-analysis of 6168 patients. *Front Oncol.* 2021;11:628706. DOI: 10.3389/fonc.2021.628706
- 4 Urmonov U.B., Dobrodeev A.Yu., Afanasyev S.G., Avgustinovich A.V., Cheremisina O.V. Modern aspects of treatment of esophageal cancer. *Siberian journal of oncology.* 2019;18(4):78–84 (In Russ.). DOI: 10.21294/1814-4861-2019-18-4-78-84
- 5 Levchenko E.V., Dvoretzkiy S.Iu., Karachun A.M., Shcherbakov A.M., Komarov I.V., Pelipas' Iu.V., et al. Mini-invasive technologies in complex treatment of esophagus cancer. *Pirogov Russian Journal of Surgery.* 2015;2:30–6 (In Russ.). DOI: 10.17116/hirurgia2015230-36
- 6 Avzaletdinov A.M., Pavlov V.N., Vildanov T.D., Gimazova A.I., Zdorik N.A., Musakaeva K.R. First robot-assisted Ivor Lewis operation with manual intrapleural anastomosis for corrosive esophageal stricture. *Creative surgery and oncology.* 2023;13(3):191–7 (In Russ.). DOI: 10.24060/2076-3093-2023-13-3-191-197
- 7 Allakhverdyan A.S., Anipchenko S.N. Laparothoracoscopic Ivor Lewis esophagectomy with esophageal-gastric intrapleural anastomosis. *Pirogov Russian Journal of Surgery.* 2020;9:5–13 (In Russ.). DOI: 10.17116/hirurgia20200915
- 8 Klevebro E., Boshier P.R., Low D.E. Application of standardized hemodynamic protocols within enhanced recovery after surgery programs to improve outcomes associated with anastomotic leak and conduit necrosis in patients undergoing esophagectomy. *J Thorac Dis.* 2019;11(Suppl 5):S692–701. DOI: 10.21037/jtd.2018.11.141

- Oncology. 2019;65(1):94–8 (In Russ.). DOI: 10.37469/0507-3758-2019-65-1-94-98
- 28 Zehetner J., DeMeester S.R., Alicuben E.T., Oh D.S., Lipham J.C., Hagen J.A., et al. Intraoperative assessment of perfusion of the gastric graft and correlation with anastomotic leaks after esophagectomy. *Ann Surg.* 2015;262(1):74–8. DOI: 10.1097/SLA.0000000000000811
- 29 Turner S.R., Molena D.R. The role of intraoperative fluorescence imaging during esophagectomy. *Thoracic Surg Clin.* 2018;28(4):567–71. DOI: 10.1016/j.thorsurg.2018.07.009
- 30 Vinnichenko I.A. Ways to prevent some complications of the Lewis operation in patients with esophageal cancer: morphofunctional justification, experimental testing and results of clinical implementation. Kiev; 1991.
- © Сулиманов Р.А., Черных А.С., Сулиманов Р.Р., Акбарова А.А., Черных О.С., Ребинок А.В., Гатилова М.Д., 2025
- © Sulimanov R.A., Chernykh A.S., Sulimanov R.R., Akbarova A.A., Chernykh O.S., Rebinok A.V., Gatilova M.D., 2025

<https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-354-363>

Одномоментная реконструкция молочной железы с использованием гладких круглых имплантатов: отдаленные результаты

Пахомова Регина Александровна — д.м.н., доцент, кафедра пластической хирургии, orcid.org/0000-0002-3681-4685

Сарибекян Эрик Карлович — д.м.н., доцент, кафедра пластической хирургии, orcid.org/0000-0003-0827-7998

Кочетова Людмила Викторовна — к.м.н., профессор, кафедра общей хирургии, orcid.org/0000-0001-5784-7067

Абдугафоров Сардор Абдугафорович — аспирант, кафедра пластической хирургии, orcid.org/0000-0001-6732-6564

Колесник Василий Ярославович — аспирант, кафедра пластической хирургии, orcid.org/0009-0001-6572-2392

Воротников Владимир Владимирович — к.м.н., доцент, кафедра пластической хирургии, orcid.org/0000-0002-7223-0150

Копытич Игорь Викторович — аспирант, кафедра пластической хирургии, orcid.org/0000-0003-2713-0115

Р.А. Пахомова¹, Э.К. Сарибекян¹, Л.В. Кочетова², С.А. Абдугафоров¹, В.Я. Колесник^{1}, В.В. Воротников¹, И.В. Копытич¹*

¹ Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия, Москва

² Красноярский государственный медицинский университет им. профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого, Россия, Красноярск

* **Контакты:** Колесник Василий Ярославович, e-mail: v.kolesnik@bk.ru

Аннотация

Введение. Одномоментная реконструкция молочной железы с использованием гладких круглых имплантатов вновь приобрела актуальность после отказа от текстурированных моделей из-за ассоциации с BIA-ALCL. Однако отдаленные результаты DTI-реконструкции с гладкими имплантами остаются слабоизученными. Настоящее исследование направлено на оценку безопасности и эффективности этого метода. **Материалы и методы.** В ретроспективное исследование включены 48 пациенток (64 молочные железы), перенесших подкожную мастэктомию с одномоментной реконструкцией гладкими имплантатами (без использования дополнительных укрывающих материалов). Период наблюдения составил в среднем 54,5 месяца. Проанализированы частота осложнений, онкологические и хирургические данные, а также факторы риска удаления или замены имплантатов. **Результаты.** Ранние осложнения составили 10,94% (наиболее частое — частичный некроз ареолы), поздние — 20,31% (преимущественно капсулярная контрактура III–IV ст. по Бейкеру). В 75% случаев имплантат был сохранен. Высокий ИМТ, большой объем имплантата и вес удаленной ткани были значимыми факторами в развитии осложнений. **Обсуждение.** Полученные данные демонстрируют сопоставимые или лучшие показатели по сравнению с зарубежными исследованиями. Отсутствие укрывающих материалов и субпекторальная установка не увеличивали частоту инфекций, но коррелировали с анимационной деформацией. Наличие послеоперационной лучевой терапии существенно повышало риск контрактуры. **Заключение.** Одномоментная реконструкция молочной железы с применением гладких имплантатов демонстрирует удовлетворительные отдаленные результаты при низком уровне осложнений. Метод может рассматриваться как безопасная альтернатива в условиях ограниченного доступа к ADM.

Ключевые слова: грудные имплантаты, гладкие имплантаты, текстурированные имплантаты, капсулярная контрактура, фиброз, маммопластика, перимплантатная ткань

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Данная работа не финансировалась.

Вклад авторов. Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Для цитирования: Пахомова Р.А., Сарибекян Э.К., Кочетова Л.В., Абдугафоров С.А., Колесник В.Я., Воротников В.В., Копытич И.В. Одномоментная реконструкция молочной железы с использованием гладких круглых имплантатов: отдаленные результаты. Креативная хирургия и онкология. 2025;15(4):354–363. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-354-363>

Поступила в редакцию: 29.09.2025

Поступила после рецензирования и доработки: 01.11.2025

Принята к публикации: 14.11.2025

Immediate Breast Reconstruction Using Smooth Round Implants: Long-Term Results

Regina A. Pakhomova¹, Erik K. Saribekyan¹, Lyudmila V. Kochetova², Sardor A. Abdugafforov¹, Vasily Ya. Kolesnik^{1*}, Vladimir V. Vorotnikov¹, Igor V. Kopytich¹

¹Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russian Federation

²Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk, Russian Federation

*Correspondence to: Vasily Ya. Kolesnik, e-mail: v.kolesnik@bk.ru

Abstract

Introduction. Immediate breast reconstruction using smooth round implants has regained popularity following the abandonment of textured models due to their association with BIA-ALCL. However, the long-term results of DTI reconstruction with smooth implants remain poorly studied. The present study aims to evaluate the safety and efficiency of this method. **Materials and methods.** The retrospective study includes 48 patients (64 breasts) who underwent subcutaneous mastectomy with immediate reconstruction using smooth implants without additional covering materials. The observation period averages 54.5 months. The incidence of complications, oncological and surgical data, as well as risk factors for removal or replacement of implants are analyzed. **Results.** Early complications account for 10.94% with most common partial areola necrosis; late complications account for 20.31% mainly as type III–IV capsular contracture according to Baker. In 75% of cases, the implant was retained. High BMI, large implant volume and weight of removed tissue are significant factors in the development of complications.

Discussion. The obtained data demonstrate comparable or better results compared to foreign studies. The absence of covering materials and subpectoral placement caused no negative effect on the incidence of infections; however, they correlate with animation deformity. The presence of postoperative radiation therapy significantly increases the risk of contracture. **Conclusion.** Immediate breast reconstruction using smooth implants demonstrates satisfactory long-term results with a low complication rate. The method can be considered as a safe alternative in conditions of limited access to ADM.

Keywords: breast implants, smooth implants, textured implants, capsular contracture, fibrosis, mammoplasty, peri-implant tissue

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

Sponsorship data. This work is not funded.

Author contributions. The authors contributed equally to this article.

For citation: Pakhomova R.A., Saribekyan E.K., Kochetova L.V., Abdugafforov S.A., Kolesnik V.Ya., Vorotnikov V.V., Kopytich I.V. Immediate breast reconstruction using smooth round implants: Long-term results. *Creative Surgery and Oncology*. 354–363. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-354-363>

Received: 29.09.2025

Revised: 01.11.2025

Accepted: 14.11.2025

Regina A. Pakhomova — Dr. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Department of Plastic Surgery, orcid.org/0000-0002-3681-4685

Erik K. Saribekyan — Dr. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Department of Plastic Surgery, orcid.org/0000-0003-0827-7998

Lyudmila V. Kochetova — Cand. Sci. (Med.), Prof., Department of General Surgery, orcid.org/0000-0001-5784-7067

Sardor A. Abdugafforov — Postgraduate Student, Department of Plastic Surgery, orcid.org/0000-0001-6732-6564

Vasily Ya. Kolesnik — Postgraduate Student, Department of Plastic Surgery, orcid.org/0009-0001-6572-2392

Vladimir V. Vorotnikov — Cand. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Department of Plastic Surgery, orcid.org/0000-0002-7223-0150

Igor V. Kopytich — Postgraduate Student, Department of Plastic Surgery, orcid.org/0000-0003-2713-0115

ВВЕДЕНИЕ

Реконструкция молочной железы после мастэктомии по поводу злокачественных новообразований осуществляется, как правило, одним из двух основных методов: с использованием имплантатов либо с применением аутологичных тканей пациентки. Имплантационная реконструкция является наиболее распространенной тактикой благодаря меньшей травматичности, сокращенной продолжительности оперативного вмешательства и отсутствию осложнений в донорской зоне. Вместе с тем использование имплантатов сопряжено с риском развития осложнений, обусловленных иммунной реакцией организма на инородное тело. Среди наиболее частых — капсулярная контрактура, инфекционные осложнения, серома и разрыв оболочки имплантата.

Совершенствование технологии производства имплантатов позволило значительно снизить частоту этих неблагоприятных событий [1]. С момента внедрения силиконовых имплантатов, содержащих гель (1962 г.), их конструкция неоднократно модифицировалась [1, 2]. В 1992 году Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (FDA) временно ограничило использование имплантатов третьего поколения в связи с недостаточной доказательной базой по их безопасности и эффективности. Это привело к кратковременному возврату к имплантатам, наполненным физиологическим раствором. В 2006 году FDA вновь одобрило применение силиконовых моделей, и с 2007 года гладкие силиконовые имплантаты стали одним из основных решений для реконструкции молочной железы [3].

Появление текстурированных имплантатов в 2010 году сопровождалось снижением частоты капсулярной контрактуры. Однако впоследствии была выявлена ассоциация между их применением и развитием анапластической крупноклеточной лимфомы, связанной с имплантатами молочной железы (BIA-ALCL) [4–6]. В 2019 году FDA инициировало отзыв с рынка текстурированных имплантатов BIOCELL компании Allergan и ввело временный запрет на все модели с текстурированной поверхностью.

Следует отметить, что в Российской Федерации одномоментная реконструкция молочной железы с применением гладких круглых имплантатов не получила широкого распространения. Это обусловлено как ограниченным клиническим опытом, так и предпочтением хирургов к текстурированным или полиуретановым моделям. Анализ доступной литературы указывает на крайне ограниченное количество исследований, посвященных применению гладких имплантатов в условиях одномоментной реконструкции. Имеющиеся публикации преимущественно касаются обзора теоретических недостатков метода, таких как необходимость подведения большой грудной мышцы и риск развития анимационного синдрома [7, 8].

Таким образом, отдаленные результаты применения гладких круглых имплантатов при одномоментной реконструкции (Direct-to-Implant, DTI) остаются малоизученными. Возвращение к их использованию после 2019 года в связи с онкологической безопасностью

обусловило необходимость оценки клинической эффективности и безопасности данной методики. В последние годы наблюдается рост интереса к гладким имплантатам, что способствовало накоплению практического опыта [9, 10].

Цель: проанализировать отдаленные результаты применения гладких круглых имплантатов при одномоментной реконструкции молочной железы и выявить факторы, влияющие на исходы лечения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Настоящее исследование представляет собой ретроспективный анализ историй болезни пациенток, которым в период с 20 марта 2020 года по 20 марта 2021 года была выполнена одномоментная реконструкция молочной железы с применением гладких круглых имплантатов после мастэктомии по поводу рака молочной железы. Критерии исключения включали двухэтапную реконструкцию с использованием тканевых экспандеров, а также реконструктивные вмешательства с применением аутологичных лоскутов в комбинации с имплантатами.

Данные были собраны на основании анализа медицинской документации. Этика исследования соблюдена, персонализированные данные обезличены.

Изучались следующие параметры: возраст пациентки, индекс массы тела (ИМТ), наличие вредных привычек (включая курение), сопутствующая соматическая патология, гинекологический анамнез. В рамках анализа хирургического вмешательства учитывались: сторона реконструкции, тип выполненной мастэктомии, масса удаленного материала, объем установленного имплантата, способ его укрытия, методика лимфодиссекции, наличие предыдущих операций на молочной железе и вмешательства на контралатеральной стороне.

Онкологические параметры включали стадию заболевания, проведение неоадьювантной и адьювантной химио- и лучевой терапии, гормонотерапию, частоту и локализацию рецидивов, а также данные о метастатическом процессе и общей выживаемости.

Осложнения классифицированы на ранние (возникавшие в течение 90 дней после операции) и поздние (возникшие по прошествии 90 дней). Ранние осложнения включали: инфекцию, некроз кожи, серому, гематому, расхождение швов и протрузию имплантата. К поздним осложнениям относились: длительная серома, разрыв имплантата, мальпозиция, вращение, деформация, истончение мягких тканей, рубь, асимметрия. Отдельно оценивалась капсулярная контрактура, классифицируемая по шкале Бейкера.

Статистический анализ выполнялся с применением *t*-критерия Стьюдента для количественных переменных и χ^2 -критерия либо точного критерия Фишера — для категориальных признаков. Статистически значимые отличия считали при $p < 0,05$. Конечной точкой исследования считалось сохранение имплантата. В случаях проведения последующего лечения в сторонних учреждениях данные о состоянии пациента и наличии имплантата уточнялись по медицинской документации и при амбулаторном осмотре.

Для оценки влияния отдельных факторов на риск развития осложнений и удаления имплантата был проведен сравнительный анализ подгрупп в зависимости от наличия ранних и поздних осложнений.

В исследование были включены 48 пациенток, которым выполнена одномоментная реконструкция молочной железы, при этом проанализированы данные по 64 железам. Обобщенные характеристики приведены в таблице 1. Средний возраст составил 46,6 года, средний ИМТ — $24,16 \pm 2,14$ кг/м², а средняя продолжительность наблюдения — 54,5 месяца.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Подавляющему числу пациенток (90,62 %) была выполнена подкожная мастэктомия с сохранением сосково-ареолярного комплекса (САК) (табл. 2). Средняя масса удаленной ткани составила 395,3 г, средний объем установленных имплантатов — 360,4 см³. Субпекторальная установка имплантатов осуществлялась без применения укрывающих материалов; фиксация нижнего полюса выполнялась при помощи дермальной ножки, дренажи не использовались.

Относительно оценки состояния регионарного лимфатического аппарата: согласно данным, представленным во второй таблице, хирургическое вмешательство в отношении лимфатических узлов классифицировано следующим образом: выполнена биопсия сторожевого лимфатического узла (БСЛУ), либо произведена лимфодиссекция, либо лимфатические узлы не подвергались хирургическому удалению.

Онкологические характеристики представлены в таблице 3. Наиболее частыми стадиями заболевания были II (32,81 %) и III (21,87 %). Неоадьювантная химиотерапия применялась в 39,06 % случаев, адьювантная — в 34,38 %. Послеоперационное облучение получали 35,94 % пациенток, что позже было ассоциировано с увеличением частоты капсулярной контрактуры. Общая выживаемость составила 96,87 %.

Параметр	Пациенты (n = 48)	Железы (n = 64)
Возраст	46,58	46,84
ИМТ	24,16	24,52
Курение	4	7
Артериальная гипертензия	3	3
Диабет	2	3
Средний период наблюдения (мес.)	54,5	53,5

Таблица 1. Общие данные пациентов
Table 1. General patient data

Ранние осложнения (в течение 90 дней) наблюдались у 10,94 % пациенток (n = 7), наиболее частым из которых был частичный некроз САК (4,69 %). Поздние осложнения регистрировались у 13 пациенток (20,31 %) и включали капсулярную контрактуру III–IV степени (10,94 %), а также анимационную деформацию (6,25 %) и мальпозицию имплантата (4,69 %) (табл. 4).

Сравнительный анализ факторов риска выявил, что развитие ранних осложнений чаще отмечалось у пациенток с более высоким ИМТ (29,65 против 23,89 кг/м²; $p < 0,05$), большим весом удаленной ткани (483,34 г против 384,6 г; $p < 0,05$) и объемом имплантата (449,97 см³ против 349,40 см³; $p = 0,008$). Также установлена ассоциация между неоадьювантной химиотерапией и частотой ранних осложнений ($p = 0,023$) (табл. 5).

Поздние осложнения статистически чаще наблюдались у пациенток, получивших послеоперационную лучевую терапию (53,85 % против 31,37 %; $p = 0,003$), а также у тех, кто имел в анамнезе хирургические вмешательства на молочной железе ($p = 0,041$) (табл. 6).

Удаление или замену имплантатов выполнили у 16 пациенток (25 %), при этом значимо чаще в группе пациенток с ранее перенесенными операциями (43,75 % против 25 %; $p = 0,047$), большим объемом имплантатов (375,4 против 355,4 см³; $p = 0,035$) и удаленной

Параметр	Импланты (n = 64)	100 %	
Сторона реконструкции	Справа	35	54,68
	Слева	29	45,31
Тип подкожной мастэктомии	С сохранением САК	58	90,62
	Без сохранения САК	6	9,38
Удаление лимфоузлов	Не проводилась	18	28,12
	Сигнальные	27	42,19
	Лимфадиссекция	19	29,69
Вес удаленного материала	395,3		
Объем имплантата	360,4		
Предыдущая операция на молочной железе	Не проводилась	45	70,31
	Аугментация	3	4,69
	Мастопексия	2	3,12
	Редукция	6	9,37
	Секторальная резекция	8	12,5
Повторные вмешательства	4	6,25	

Таблица 2. Данные о хирургическом вмешательстве
Table 2. Data on surgical intervention

Параметр	(Железы) 64	100 %	
Стадия	0 (профилактическая)	12	18,75
	In situ	4	6,25
	I	13	20,31
	II	21	32,81
	III	14	21,87
	IV	0	
	N0	42	65,63
	N+	22	34,37
Химотерапия	Не проводилась	17	26,56
	Неoadъювантная	25	39,06
	Адъювантная	22	34,38
	Гормональная терапия	41	64,06
Лучевая терапия	Не проводилась	39	60,94
	До операции	2	3,12
	После операции	23	35,94
	Наблюдение		
	Местный рецидив	6	9,37
	Регионарный (лимфатический) рецидив	3	4,69
Количество операций при рецидиве	0	0	
	1	7	10,94
	2 и более	2	3,12
	Удаление имплантата из-за рецидива	1	1,56
	Отдаленные метастазы	2	3,12
	Метастазы в контралатеральной молочной железе	0	0
	Смерть	2	3,12

Таблица 3. Данные об онкологическом заболевании на момент лечения и наблюдение
Table 3. Data on the oncological disease at the time of treatment and observation

Параметр	(Железы) 64	100 %
Ранние осложнения	7	10,94
Инфекция	1	1,56
Некроз кожи	3	4,69
Серома	2	3,12
Гематома	1	1,56
Расхождение швов	1	1,56
Протрузия имплантата	1	1,56
Поздние осложнения	13	20,31
Инфекция	0	
Длительная серома	2	3,12
Разрыв имплантата	0	
Мальпозиция	3	4,69
Вращение имплантата	1	1,56
Анимационная деформация	4	6,25
Истончение мягких тканей	1	1,56
Рябь	1	1,56
Асимметрия	2	3,15
Капсулярная контрактура (III ст. и более)	7	10,94
Окончательный результат		
Имплантат на месте	48	75
Эксплантация	1	1,56
Замена на новые имплантаты	14	21,87
Аутологическая конверсия	1	1,56

Таблица 4. Ранние/поздние осложнения и конечные результаты
Table 4. Early/late complications and final results

Параметр	Без осложнений, n = 57		Любые осложнения, n = 7		p
Возраст (лет)	45,86 ± 2,31		54,82 ± 1,79		
Индекс массы тела (кг/м ²)	23,89 ± 2,45		29,65 ± 3,02		
Неoadъювантная химиотерапия	21	36,84	4	57,14	0,023
Предоперационная лучевая терапия	0	0	1	14,29	0,751
Гормональная терапия	37	64,91	4	57,14	0,386
Предыдущая операция	17	29,82	2	28,57	0,068
Стадия 2 или 3	31	54,38	4	57,14	0,407
Мастэктомия без сохранения САК	5	87,72	1	14,29	1,000
Лимфадиссекция	17	29,82	2	28,57	0,906
Вес образца после мастэктомии (г)	384,60	97,29	483,34	122,27	0,007
Объем имплантата (см ³)	349,40	96,95	449,97	124,85	0,008

Таблица 5. Сравнение подгрупп: ранние осложнения (в течение 90 дней после операции)
Table 5. Subgroup comparison: early complications (within 90 days of postoperative period)

Параметр	Без осложнений, n = 51		Любые осложнения, n = 13		p
Возраст (лет)	47,14 ± 2,41		45,66 ± 1,57		
Индекс массы тела (кг/м ²)	23,92 ± 1,89		26,87 ± 1,21		
Неoadъювантная химиотерапия	20	39,21	5	38,46	0,421
Адъювантная химиотерапия	17	33,33	4	30,77	0,705
Лучевая терапия до операции	1	1,96	1	7,69	1,000
Лучевая терапия после операции	16	31,37	7	53,85	0,003
Гормональная терапия	33	64,70	8	61,54	1,000
Предыдущая операция	12	23,53	7	53,85	0,041
Стадия 2 или 3	29	56,86	6	46,15	0,087
Мастэктомия без сохранения САК	5	9,80	1	7,69	0,605
Лимфадиссекция	13	25,49	6	46,15	0,782
Вес образца после мастэктомии (г)	387,68	98,09	425,19	107,5	0,598
Объем имплантата (см ³)	354,5	98,36	383,55	106,42	0,635
Ранние осложнения	4	7,84	3	23,07	0,687
Местный рецидив	4	7,84	2	15,38	1,000
Регионарный (лимфатический) рецидив	3	5,88	0	0	1,000

Таблица 6. Сравнение подгрупп: поздние осложнения (после 90 дней послеоперационного периода)
Table 6. Subgroup comparison: late complications (after 90 days of postoperative period)

тканью (437,0 против 381,4 г; $p = 0,037$). Частота ранних (31,25%) и поздних (62,5%) осложнений также была значительно выше в этой подгруппе (табл. 7).

ОБСУЖДЕНИЕ

Несмотря на наличие данных о применении гладких круглых имплантатов в эстетической аугментационной маммопластике [11, 12], до настоящего времени отсутствует достаточное количество долгосрочных исследований, касающихся их использования в реконструктивной хирургии молочной железы. В условиях расширения клинической практики и доступности гладких имплантатов актуальным представляется проведение проспективных сравнительных исследований, включающих когорты пациенток, перенесших реконструкцию после мастэктомии, с целью оценки эффективности и безопасности данного метода [13, 14]. Исследование Frey и соавт. [15] представило обширный анализ 1028 случаев одномоментной реконструкции

с использованием тканевых экспандеров (51,8%) и имплантатов DTI (22,6%), при этом гладкие имплантаты применялись в 78,1% реконструкций методом DTI. Однако отсутствие стратификации по типу поверхности имплантатов ограничивает возможности интерпретации полученных данных. В другом исследовании гладкие имплантаты использовались в 93,7% случаев, однако почти всегда — с применением дополнительного покрытия в виде бесклеточной дермальной матрицы (ADM), что существенно влияет на исходы и частоту осложнений [16].

Настоящее исследование восполняет дефицит данных, предоставляя результаты наблюдения пациенток, перенесших одномоментную реконструкцию молочной железы с использованием исключительно гладких имплантатов без применения ADM. Это позволяет объективно оценить частоту осложнений, обусловленных исключительно техникой установки и характеристиками имплантатов [17, 18].

Параметр	Имплант на месте, n = 48		Удаление/замена, n = 16		p, уровень значимости
Возраст (лет)	46,41 ± 2,65		48,13 ± 2,38		
Индекс массы тела (кг/м ²)	24,07 ± 1,86		25,87 ± 2,71		
Неоадъювантная химиотерапия	20	41,67	8	50	0,743
Лучевая терапия до операции	0	0	2	12,5	0,711
Гормональная терапия	31	64,58	10	62,5	0,585
Предыдущая операция	12	25	7	43,75	0,047
Стадия 2 или 3	26	54,17	9	56,25	0,672
Мастэктомия без сохранения САК	5	10,42	1	6,25	0,269
Лимфадиссекция	15	0,3125	4	25	0,091
Вес образца после мастэктомии (г)	381,4		437,0		0,037
Объем имплантата (см ³)	355,4		375,4		0,035
Ранние осложнения	2	4,17	5	31,25	0,001
Поздние осложнения	3	6,25	10	62,5	0,001
Местный рецидив	5	10,42	1	6,25	1,000
Регионарный (лимфатический) рецидив	3	6,25	0	0	0,450

Таблица 7. Сравнение подгрупп: окончательные результаты
Table 7. Subgroup comparison: final results

Среди ранних осложнений наиболее часто встречался некроз кожи (4,69%), преимущественно в виде частичного некроза сосково-ареолярного комплекса (САК), ассоциированного, вероятнее всего, с ишемическими изменениями, а не с имплантатом. Частота серомы составила 3,85% и, по всей вероятности, обусловлена отказом от использования дренирующих систем. Эти значения сопоставимы с данными других авторов [16], несмотря на различия в методах профилактики серомы. Примечательно, что в исследованиях с применением текстурированных имплантатов частота серомы существенно выше (до 20,6%) [19].

Среди поздних осложнений наибольшее клиническое значение имела капсулярная контрактура III–IV степени по Baker, зарегистрированная в 10,94% случаев [20, 21]. Все пациенты с данным осложнением получали послеоперационную лучевую терапию, что подтверждает хорошо известную корреляцию между облучением и риском формирования капсулярной контрактуры [22–24]. Частота данного осложнения варьирует в зависимости от метода установки, типа имплантата и продолжительности наблюдения [25]. Так, в исследовании Voua et al. [16] капсулярная контрактура достигала 13,4% за 112 месяцев наблюдения, что сопоставимо с нашими данными при учете более короткого периода отслеживания (в среднем 58 месяцев).

Анимационная деформация, обусловленная субпекторальной установкой имплантатов, диагностирована в 6,25% случаев. Данный показатель несколько выше по сравнению с данными Mina et al. [26], где частота данного осложнения составила 5,81%. Различие может объясняться более длительным сроком наблюдения в нашем исследовании и отсутствием применения ADM. Мальпозиция имплантатов (4,69%) в нашем исследовании представлена исключительно краниальным смещением. Полученные данные значительно ниже, чем в исследовании Mina и др. (до 38,37%), где также при-

менялся ADM, но сопоставимы с результатами Voua et al. (2,88%) и King et al. (10,6%) [16, 24].

Анализ факторов риска развития осложнений показал, что большая масса удаленной ткани молочной железы и больший объем имплантата достоверно ассоциировались с повышенным риском ранних осложнений [27, 28]. Несмотря на данные литературы, указывающие на влияние предоперационной лучевой терапии [15, 19], в нашем исследовании значимых различий выявлено не было, вероятно, из-за ограниченного размера выборки и преобладания случаев, где предпочтению отдавалось лоскутной реконструкции. Высокий индекс массы тела (ИМТ) также показал положительную корреляцию с осложнениями, что подтверждается другими исследованиями [8, 24, 29].

Что касается отдаленных результатов, необходимость удаления или замены имплантата значительно чаще возникала у пациенток с ранее проведенными операциями на молочной железе, а также при наличии ранних или поздних осложнений. Только в одном случае удаление имплантата было обусловлено инфекцией (*Staphylococcus aureus*), в одном — осложненной капсулярной контрактурой после лучевой терапии с последующей реконструкцией DIEP-лоскутом. В остальных случаях (21,87%) проводилась замена имплантата: преимущественно по причине капсулярной контрактуры (7 случаев), мальпозиции (3 случая) и анимационной деформации (2 случая). Таким образом, тяжелый объем железы, размеры имплантата и наличие осложнений являются независимыми предикторами последующих ревизионных операций [30].

Сохранение имплантата на момент завершения наблюдения составило 75%, что ниже, чем в исследованиях Vorstenbosch et al. (82%) [31] и Voua et al. (91,35%) [16]. На это могут влиять как социально-экономические, так и культурные особенности. В частности, доступность бесплатной медицинской помощи по системе ОМС

в РФ, включая коррекцию осложнений и эстетических недостатков, может повышать готовность пациенток к повторным операциям. В странах, где такие процедуры не покрываются страховкой (например, Корея или США), подобные вмешательства осуществляются реже, что отражается в меньшей частоте замен [32].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование продемонстрировало, что одномоментная реконструкция молочной железы с использованием гладких имплантатов является клинически оправданным методом с приемлемым профилем безопасности. Наиболее частым ранним осложнением оказался частичный некроз сосково-ареолярного комплекса, преимущественно обусловленный ишемическими нарушениями, а не характеристиками имплантатов. Среди поздних осложнений наибольшую клиническую значимость имеет капсулярная контрактура III–IV степени по классификации Baker, особенно у пациенток, получавших послеоперационную лучевую терапию, где ее частота достигала 30,43 %.

Выявлена достоверная зависимость между развитием осложнений и массой резецированной ткани, а также объемом установленного имплантата. Оптимальным объемом имплантата для одномоментной реконструкции, по данным нашего исследования, является значение, не превышающее 360 см³. Частота сохранения имплантатов составила 75 %, что является удовлетворительным показателем с учетом роста требований пациентов и доступности хирургической помощи в рамках государственной системы здравоохранения.

Таким образом, гладкие имплантаты при одномоментной реконструкции молочной железы после подкожной мастэктомии демонстрируют удовлетворительные отдаленные результаты. Тем не менее для окончательной оценки их эффективности необходимы исследования с большей выборкой пациентов и увеличенным сроком наблюдения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Kaoutzanis C., Winocour J., Kelamis J., Hirsch E.M., Layliev J., Halvorson E.G., et al. The evolution of breast implants. *Semin Plast Surg.* 2019;33(4):217–23. DOI: 10.1055/s-0039-1696985
- Cronin T.D., Brauer R.O. Augmentation mammoplasty. *Surg Clin North Am.* 1971;51(2):441–52. DOI: 10.1016/s0039-6109(16)39388-4
- Min K., Jeon D.N., Choi E.J., Lee T.J. Outcomes of saline implant-based immediate breast reconstruction: 15-year follow-up results. *Arch Aesthetic Plast Surg.* 2020;26(4):125–31. DOI: 10.14730/aaps.2020.02257
- Nelson J.A., McCarthy C., Dabic S., Polanco T., Chilov M., Mehra B.J., et al. BIA-ALCL and textured breast implants: a systematic review of evidence supporting surgical risk management strategies. *Plast Reconstr Surg.* 2021;147(5S):7S–13S. DOI: 10.1097/PRS.00000000000008040
- Mousavi Z., Abolhasanpour N., Naseri A., Maghsoudi F., Farshbaf-Khalili A., Shahsavarinia K., et al. Cosmetic breast implants and the risk of suicide: a systematic review and meta-analysis. *Iran J Psychiatry.* 2023;18(3):319–31. DOI: 10.18502/ijps.v18i3.13008
- Carr L.W., Roberts J., Potochny J.D. How breast implant surface type is influenced by breast implant-associated anaplastic large cell lymphoma: a survey of the American Society of Plastic Surgeons. *Ann Plast Surg.* 2019;82(4S Suppl 3):S208–11. DOI: 10.1097/SAP.0000000000001880
- Солодкий В.А., Шерстнева Т.В., Меских Е.В., Измайлов Т.Р. Реконструктивно-пластические операции при раке молочной железы в Российской Федерации и за рубежом (обзор литературы). *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова.* 2018;13(3):132–7. DOI: 10.25881/BPNMSC.2018.78.94.028
- Шагова Ю.С., Пржедецкий Ю.В., Пржедецкая В.Ю., Ващенко Л.Н., Шевченко Н.А., Черникова Е.Н. Одномоментная одноэтапная препекторальная реконструкция молочной железы имплантатами различного типа: текстурированные vs полиуретановые. *Вопросы онкологии.* 2022;68(3):348–53. DOI: 10.37469/0507-3758-2022-68-3-348-353
- Bertulla E., Raposio E. Optimizing aesthetic results in implant-based breast reconstruction: patient factors, surgical techniques, and adjunctive strategies. *J Clin Med.* 2025;14(19):7106. DOI: 10.3390/jcm14197106
- Seki H., Komiya T., Sowa Y., Kato M., Nishida Y., Isaka H., et al. Breast satisfaction and health-related quality of life following total mastectomy, breast-conserving surgery, or immediate breast reconstruction in Japanese patients with breast cancer: multicentre cross-sectional controlled study (Reborn). *BJS Open.* 2025;9(5):zraf094. DOI: 10.1093/bjsopen/zraf094
- Denney B.D., Cohn A.B., Bosworth J.W., Kumbala P.A. Revision breast augmentation. *Semin Plast Surg.* 2021;35(2):98–109. DOI: 10.1055/s-0041-1727272
- Paolini G., Firmani G., Briganti F., Macino M., Nigrelli S., Sorotos M., et al. Assessment of risk factors for rupture in breast reconstruction patients with macrot textured breast implants. *Aesthetic Plast Surg.* 2023;47(2):517–30. DOI: 10.1007/s00266-022-03118-9
- Katsuragi R., Ozturk C.N., Chida K., Mann G.K., Roy A.M., Hakamada K., et al. Updates on breast reconstruction: surgical techniques, challenges, and future directions. *World J Oncol.* 2024;15(6):853–70. DOI: 10.14740/wjon1935
- Haas E., Christodoulou N., Secanho M., Kokosis G., Malgor R.D., Winocour J., et al. Capsular contracture after breast augmentation: a systematic review and meta-analysis. *Aesthet Surg J Open Forum.* 2025;7:ojaf003. DOI: 10.1093/asjof/003
- Sagır M., Güven E., Eröz S., Uras C. Implant selection in natural and stable direct-to-implant reconstruction with ten steps at nipple-sparing mastectomy. *Medicine (Baltimore).* 2023;102(19):e33758. DOI: 10.1097/MD.00000000000033758
- Woo S.H., Yoon I.A., Choi E.J., Han H.H., Eom J.S., Lee T.J., et al. Outcomes of smooth round implant-based immediate breast reconstruction: Long-term follow-up results. *J Plast Surg Hand Surg.* 2023;57(1–6):370–75. DOI: 10.1080/2000656X.2022.2118757
- Fijany A.J., Chaker S.C., Hung Y.C., Zago I., Friedlich N., Olsson S.E., et al. Complication profiles of smooth vs textured tissue expanders in breast reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Aesthet Surg J.* 2024;44(4):383–93. DOI: 10.1093/asj/sjad319
- Asaad M., Offodile A.C., Santanelli Di Pompeo F., Bevers T.B., Stelly S., Carew L.A., et al. Management of symptomatic patients with textured implants. *Plast Reconstr Surg.* 2021;147(5S):58S–68S. DOI: 10.1097/PRS.00000000000008047
- Bushong E.E., Wesely N., Komorowska-Timek E. To acellular dermal matrix or not to acellular dermal matrix? Outcomes of pre-pectoral prosthetic reconstruction after nipple-sparing mastectomy with and without acellular dermal matrix. *Gland Surg.* 2024;13(6):885–96. DOI: 10.21037/gs-24-23
- Zogheib S., Hanna C., Daou B., Mjaess G., Nasr M. Breast implant-associated double capsules: what do we know so far? A systematic review of the literature. *Aesthetic Plast Surg.* 2022;46(1):35–42. DOI: 10.1007/s00266-021-02443-9
- Park B.C., Alving-Trinh A.L., Prigmore H.L., Harrell F.E. Jr, Sarhane K., Joseph J.T., et al. Impact of tissue expander surface texture on two-stage breast reconstruction outcomes: a combined analysis. *Plast Reconstr Surg.* 2024;153(6):1053e–62e. DOI: 10.1097/PRS.00000000000010763
- Ma T., Li X., Sun X., Cao W., Niu Z., Wang H. Complications and patient-reported outcomes after radiotherapy in breast cancer patients undergoing implant-based breast reconstruction: a retrospective study from a large Chinese breast disease center. *World J Surg Oncol.* 2024;22(1):347. DOI: 10.1186/s12957-024-03618-9
- Moon S., Min K., Kim T.H., Um J.H., Kook Y., Baek S.H., et al. Capsular contracture after postmastectomy radiation in implant-based breast reconstruction: effect of implant pocket and two-stage surgery. *J Breast Cancer.* 2024;27(6):395–406. DOI: 10.4048/jbc.2024.0141
- King C.A., Bartholomew A.J., Sosin M., Avila A., Famiglietti A.L., Dekker P.K., et al. A critical appraisal of late complications of prepectoral versus subpectoral breast reconstruction following nipple-sparing mastectomy. *Ann Surg Oncol.* 2021;28(13):9150–8. DOI: 10.1245/s10434-021-10085-z
- Stein M.J., Applebaum S.A., Harrast J.J., Lipa J.E., Matarasso A., Gosain A.K. Practice patterns in primary breast augmentation: a 16-

year review of continuous certification tracer data from the American Board of plastic surgery. *Plast Reconstr Surg.* 2023;152(6):1011e–21e. DOI: 10.1097/PRS.00000000000010497

26 Min K., Min J.C., Han H.H., Kim E.K., Eom J.S. Comparing outcomes of prepectoral, partial muscle-splitting subpectoral, and dual-plane subpectoral direct-to-implant reconstruction: implant upward migration and the pectoralis muscle. *Gland Surg.* 2024;13(6):852–63. DOI: 10.21037/gS-24-45

27 Plotsker E.L., Stern C.S., Graziano F.D., Rubenstein R.N., Vingan P.S., Haglich K., et al. Surgical management of textured breast implants: assessing risk and analyzing patient-reported outcomes. *Plast Reconstr Surg.* 2024;154(1):39–52. DOI: 10.1097/PRS.00000000000010957

28 Christodoulou N., Secanho M., Kokosis G., Malgor R.D., Winocour J., Yu J.W., et al. Capsular contracture in breast reconstruction: A systematic review and meta-analysis. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2024;98:131–43. DOI: 10.1016/j.bjps.2024.08.057

29 Bryan J.L., Ockerman K.M., Spiguel L.R., Cox E.A., Han S.H., Trieu N., et al. Postoperative complications of direct-to-implant and two-staged breast reconstruction: a stratified analysis. *Plast Surg (Oakv).* 2024;33(4):574–581. DOI: 10.1177/22925503241276541

30 Bi S., Liu R., Wu B., Shen Y., Jia K., Sun K., et al. Breast implants for mammoplasty: an umbrella review of meta-analyses of multiple complications. *Aesthetic Plast Surg.* 2020;44(6):1988–96. DOI: 10.1007/s00266-020-01866-0

31 Vorstenbosch J., McCarthy C.M., Shamsunder M.G., Polanco T.O., Dabic S., Wiser I., et al. Smooth versus textured implant breast reconstruction: patient-reported outcomes and complications. *Plast Reconstr Surg.* 2021;148(5):959–67. DOI: 10.1097/PRS.00000000000008411

32 Han S.E., Lee K.T., Bang S. Comprehensive comparison between shaped versus round implants for breast reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Aesthet Surg J.* 2021;41(1):34–44. DOI: 10.1093/asj/sjaa128

11 Denney B.D., Cohn A.B., Bosworth J.W., Kumbla P.A. Revision breast augmentation. *Semin Plast Surg.* 2021;35(2):98–109. DOI: 10.1055/s-0041-1727272

12 Paolini G., Firmani G., Briganti F., Macino M., Nigrelli S., Sorotos M., et al. Assessment of risk factors for rupture in breast reconstruction patients with macrotextured breast implants. *Aesthetic Plast Surg.* 2023;47(2):517–30. DOI: 10.1007/s00266-022-03118-9

13 Katsuragi R., Ozturk C.N., Chida K., Mann G.K., Roy A.M., Haka-mada K., et al. Updates on breast reconstruction: surgical techniques, challenges, and future directions. *World J Oncol.* 2024;15(6):853–70. DOI: 10.14740/wjon1935

14 Haas E., Christodoulou N., Secanho M., Kokosis G., Malgor R.D., Winocour J., et al. Capsular contracture after breast augmentation: a systematic review and meta-analysis. *Aesthet Surg J Open Forum.* 2025;7:ojaf003. DOI: 10.1093/asjof/ojaf003

15 Sağır M., Güven E., Eröz S., Uras C. Implant selection in natural and stable direct-to-implant reconstruction with ten steps at nipple-sparing mastectomy. *Medicine (Baltimore).* 2023;102(19):e33758. DOI: 10.1097/MD.00000000000033758

16 Woo S.H., Yoon I.A., Choi E.J., Han H.H., Eom J.S., Lee T.J., et al. Outcomes of smooth round implant-based immediate breast reconstruction: Long-term follow-up results. *J Plast Surg Hand Surg.* 2023;57(1–6):370–5. DOI: 10.1080/2000656X.2022.2118757

17 Fijany A.J., Chaker S.C., Hung Y.C., Zago I., Friedlich N., Olsson S.E., et al. Complication profiles of smooth vs textured tissue expanders in breast reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Aesthet Surg J.* 2024;44(4):383–93. DOI: 10.1093/asj/sjad319

18 Asaad M., Offodile A.C., Santaneli Di Pompeo F., Bevers T.B., Stelly S., Carew L.A., et al. Management of symptomatic patients with textured implants. *Plast Reconstr Surg.* 2021;147(5S):58S–68S. DOI: 10.1097/PRS.00000000000008047

19 Bushong E.E., Wesely N., Komorowska-Timek E. To acellular dermal matrix or not to acellular dermal matrix? Outcomes of pre-pectoral prosthetic reconstruction after nipple-sparing mastectomy with and without acellular dermal matrix. *Gland Surg.* 2024;13(6):885–96. DOI: 10.21037/gS-24-23

20 Zogheib S., Hanna C., Daou B., Mjaess G., Nasr M. Breast implant-associated double capsules: what do we know so far? A systematic review of the literature. *Aesthetic Plast Surg.* 2022;46(1):35–42. DOI: 10.1007/s00266-021-02443-9

21 Park B.C., Alving-Trinh A.L., Prigmore H.L., Harrell F.E. Jr, Sarhane K., Joseph J.T., et al. Impact of tissue expander surface texture on two-stage breast reconstruction outcomes: a combined analysis. *Plast Reconstr Surg.* 2024;153(6):1053e–62e. DOI: 10.1097/PRS.00000000000010763

22 Ma T., Li X., Sun X., Cao W., Niu Z., Wang H. Complications and patient-reported outcomes after radiotherapy in breast cancer patients undergoing implant-based breast reconstruction: a retrospective study from a large Chinese breast disease center. *World J Surg Oncol.* 2024;22(1):347. DOI: 10.1186/s12957-024-03618-9

23 Moon S., Min K., Kim T.H., Um J.H., Kook Y., Baek S.H., et al. Capsular contracture after postmastectomy radiation in implant-based breast reconstruction: effect of implant pocket and two-stage surgery. *J Breast Cancer.* 2024;27(6):395–406. DOI: 10.4048/jbc.2024.0141

24 King C.A., Bartholomew A.J., Sosin M., Avila A., Famiglietti A.L., Dekker P.K., et al. A critical appraisal of late complications of prepectoral versus subpectoral breast reconstruction following nipple-sparing mastectomy. *Ann Surg Oncol.* 2021;28(13):9150–8. DOI: 10.1245/s10434-021-10085-z

25 Stein M.J., Applebaum S.A., Harrast J.J., Lipa J.E., Matarasso A., Gossain A.K. Practice patterns in primary breast augmentation: a 16-year review of continuous certification tracer data from the American Board of plastic surgery. *Plast Reconstr Surg.* 2023;152(6):1011e–21e. DOI: 10.1097/PRS.00000000000010497

26 Min K., Min J.C., Han H.H., Kim E.K., Eom J.S. Comparing outcomes of prepectoral, partial muscle-splitting subpectoral, and dual-plane subpectoral direct-to-implant reconstruction: implant upward migration and the pectoralis muscle. *Gland Surg.* 2024;13(6):852–63. DOI: 10.21037/gS-24-45

27 Plotsker E.L., Stern C.S., Graziano F.D., Rubenstein R.N., Vingan P.S., Haglich K., et al. Surgical management of textured breast implants: assessing risk and analyzing patient-reported outcomes. *Plast Reconstr Surg.* 2024;154(1):39–52. DOI: 10.1097/PRS.00000000000010957

28 Christodoulou N., Secanho M., Kokosis G., Malgor R.D., Winocour J., Yu J.W., et al. Capsular contracture in breast reconstruction: A systematic review and meta-analysis. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2024;98:131–43. DOI: 10.1016/j.bjps.2024.08.057

29 Bryan J.L., Ockerman K.M., Spiguel L.R., Cox E.A., Han S.H., Trieu N., et al. Postoperative complications of direct-to-implant and two-

REFERENCES

1 Kaoutzanis C., Winocour J., Kelamis J., Hirsch E.M., Layliev J., Halvorson E.G., et al. The evolution of breast implants. *Semin Plast Surg.* 2019;33(4):217–223. DOI: 10.1055/s-0039-1696985

2 Cronin T.D., Brauer R.O. Augmentation mammoplasty. *Surg Clin North Am.* 1971;51(2):441–52. DOI: 10.1016/s0039-6109(16)39388-4

3 Min K., Jeon D.N., Choi E.J., Lee T.J. Outcomes of saline implant-based immediate breast reconstruction: 15-year follow-up results. *Arch Aesthetic Plast Surg.* 2020;26(4):125–31. DOI: 10.14730/aaps.2020.02257

4 Nelson J.A., McCarthy C., Dabic S., Polanco T., Chilov M., Mehrara B.J., et al. BIA-ALCL and textured breast implants: a systematic review of evidence supporting surgical risk management strategies. *Plast Reconstr Surg.* 2021;147(5S):7S–13S. DOI: 10.1097/PRS.00000000000008040

5 Mousavi Z., Abolhasanpour N., Naseri A., Maghsoudi F., Farshbaf-Khalili A., Shahsavarinia K., et al. Cosmetic breast implants and the risk of suicide: a systematic review and meta-analysis. *Iran J Psychiatry.* 2023;18(3):319–31. DOI: 10.18502/ijps.v18i3.13008

6 Carr L.W., Roberts J., Potochny J.D. How breast implant surface type is influenced by breast implant-associated anaplastic large cell lymphoma: a survey of the American Society of Plastic Surgeons. *Ann Plast Surg.* 2019;82(4S Suppl 3):S208–11. DOI: 10.1097/SAP.00000000000001880

7 Solodkiy V.A., Sherstneva T.V., Meskih E.V., Izmailov T.R. The state of the issue of reconstructive plastic surgery for breast cancer in the Russian Federation and in the world. *Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center.* 2018;13(3):132–7 (In Russ.). DOI: 10.25881/BPNMSC.2018.78.94.028

8 Shatova Yu.S., Przhedekij Yu.V., Przhedetckaya V., Vashchenko L.N., Shevchenko N.A., Chernikova E.N. DTI prepectoral breast reconstruction with implants: texture vs polyurethane. *Problems in Oncology.* 2022;68(3):348–53 (In Russ.).ю DOI: 10.37469/0507-3758-2022-68-3-348-353

9 Bertulla E., Raposio E. Optimizing aesthetic results in implant-based breast reconstruction: patient factors, surgical techniques, and adjunctive strategies. *J Clin Med.* 2025;14(19):7106. DOI: 10.3390/jcm14197106

10 Seki H., Komiya T., Sowa Y., Kato M., Nishida Y., Isaka H., et al. Breast satisfaction and health-related quality of life following total mastectomy, breast-conserving surgery, or immediate breast reconstruction in Japanese patients with breast cancer: multicenter cross-sectional controlled study (Reborn). *BJS Open.* 2025;9(5):zraf094. DOI: 10.1093/bjsopen/zraf094

- staged breast reconstruction: a stratified analysis. *Plast Surg (Oakv)*. 2024;33(4):574–81. DOI: 10.1177/22925503241276541
- 30 Bi S., Liu R., Wu B., Shen Y., Jia K., Sun K., et al. Breast implants for mammaplasty: an umbrella review of meta-analyses of multiple complications. *Aesthetic Plast Surg*. 2020;44(6):1988–96. DOI: 10.1007/s00266-020-01866-0
- 31 Vorstenbosch J., McCarthy C.M., Shamsunder M.G., Polanco T.O., Dabic S., Wisner I., et al. Smooth versus textured implant breast reconstruction: patient-reported outcomes and complications. *Plast Reconstr Surg*. 2021;148(5):959–67. DOI: 10.1097/PRS.00000000000008411
- 32 Han S.E., Lee K.T., Bang S. Comprehensive comparison between shaped versus round implants for breast reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Aesthet Surg J*. 2021;41(1):34–44. DOI: 10.1093/asj/sjaa128
- © Пахомова Р.А., Сарибекян Э.К., Кочетова Л.В., Абдугаффаров С.А., Колесник В.Я., Воротников В.В., Копытич И.В., 2025
- © Pakhomova R.A., Saribekyan E.K., Kochetova L.V., Abdugafforov S.A., Kolesnik V.Ya., Vorotnikov V.V., Kopytich I.V., 2025

<https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-364-375>

Разработка фотополимерных суспензий на основе гидроксипатита для 3D-печати в медицине

Биялов Азат Ринатович — к.м.н., доцент, кафедра травматологии и ортопедии, orcid.org/0000-0002-1273-9430

А.Р. Биялов, С.Г. Карчевский, А.А. Тихонов, М.Ф. Галаутдинов, В.Н. Акбашев, К.В. Данилко, С.В. Пятницкая, И.Ш. Ахатов, Д.В. Джуринский, Р.В. Абдрахимов, И.В. Буренина, Р.Р. Ишемгулов*

Башкирский государственный медицинский университет, Россия, Республика Башкортостан, Уфа

Карчевский Станислав Геннадьевич — лаборатория аддитивных технологий, orcid.org/0000-0001-6778-4872

* **Контакты:** Биялов Азат Ринатович, e-mail: azat.biyalov@gmail.com

Тихонов Андрей Александрович — лаборатория аддитивных технологий, orcid.org/0000-0003-3372-5393

Аннотация

Введение. Аддитивное производство керамики на основе гидроксипатита (ГА) рассматривается как перспективный подход к созданию персонализированных костных имплантатов, однако высоконагруженные фотополимерные суспензии требуют точного подбора состава и режимов засветки для обеспечения стабильной печати и качества изделий. Целью работы явилась разработка фотополимерной суспензии на основе гидроксипатита собственного синтеза для аддитивного производства керамических имплантатов методом DLP-3D-печати.

Галаутдинов Марс Флоритович — лаборатория аддитивных технологий, orcid.org/0000-0003-4284-5696

Материалы и методы. Гидроксипатит синтезировали методами соосаждения и гидротермального синтеза из водных растворов солей кальция и фосфатов, проводили помол и фракционирование порошка, морфологию оценивали с помощью сканирующей электронной микроскопии, элементный состав — методом энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа. На основе синтезированного гидроксипатита была разработана фотополимерная суспензия с массовой долей неорганической фазы 60%, содержащая акрилатные мономеры, фотоинициаторную систему и диспергирующие добавки. Также исследовали фотополимеризацию на DLP-3D-принтере при различной мощности ультрафиолетового излучения и времени экспозиции. **Результаты и обсуждение.** Было показано формирование хорошо кристаллизованного гидроксипатита с пластинчатой и наноструктурированной морфологией и развитой пористостью, подтверждено преобладание кальция и фосфора без значимых токсичных примесей. При мощности излучения 40 мВт/см² оптимальное время экспозиции 6–10 с обеспечивало формирование равномерно отвержденных слоев толщиной около 0,7–0,9 мм и выход на плато по толщине при дальнейшем увеличении выдержки. **Заключение.** Полученные данные свидетельствуют, что сочетание контролируемой морфологии гидроксипатита и специально подобранной фотополимерной матрицы обеспечивает достаточную глубину полимеризации и стабильность слоев, необходимых для DLP-печати изделий сложной геометрии. Высокая удельная поверхность и пористость ГА дополнительно повышают его потенциал в тканевой инженерии. Разработанная фотополимерная суспензия на основе ГА собственного синтеза демонстрирует пригодность для DLP-3D-печати и может быть использована как основа для создания персонализированных керамических имплантатов в травматологии, ортопедии, нейрохирургии и челюстно-лицевой хирургии.

Акбашев Владислав Николаевич — кафедра травматологии и ортопедии, orcid.org/0009-0000-7070-217X

Данилко Ксения Владимировна — к.б.н., доцент, лаборатория клеточных культур, orcid.org/0000-0002-4374-2923

Ключевые слова: 3D-печать, керамика, имплантаты, DLP, гидроксипатит, гидротермальный синтез, фотополимерная суспензия

Пятницкая Светлана Викторовна — к.м.н., доцент, лаборатория биопринтинга, orcid.org/0000-0002-4317-8146

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Ахатов Искандер Шаукатович — д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник, лаборатория математического моделирования, orcid.org/0000-0003-4772-2302

Информация о спонсорстве. Данная работа выполнена в рамках приоритетного прикладного научного исследования, выполняемого в рамках государственного задания Минздрава России. Номер государственного учета в ЕГИСУ НИОКТР — 124121700079-8.

Джуринский Дмитрий Викторович — к.т.н., доцент, старший научный сотрудник, лаборатория математического моделирования, orcid.org/0000-0003-0256-0645

Вклад авторов. Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Абдрахимов Руслан Вахитович — кафедра урологии и онкологии, orcid.org/0000-0002-2311-4452

Для цитирования: Биялов А.Р., Карчевский С.Г., Тихонов А.А., Галаутдинов М.Ф., Акбашев В.Н., Данилко К.В., Пятницкая С.В., Ахатов И.Ш., Джуринский Д.В., Абдрахимов Р.В., Буренина И.В., Ишемгулов Р.Р. Разработка фотополимерных суспензий на основе гидроксипатита для 3D-печати в медицине. Креативная хирургия и онкология. 2025;15(4):364–375. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-364-375>

Буренина Ирина Валерьевна — д.э.н., профессор, кафедра экономики и менеджмента, orcid.org/0000-0002-9530-516X

Ишемгулов Руслан Радикович — к.м.н., доцент, кафедра урологии и онкологии, orcid.org/0000-0001-9521-4957

Поступила в редакцию: 22.09.2025

Поступила после рецензирования и доработки: 31.10.2025

Принята к публикации: 10.11.2025

Development of Photopolymer Hydroxyapatite Suspensions for 3D Printing in Medicine

Azat R. Bilyalov*, Stanislav G. Karchevsky, Andrey A. Tikhonov, Mars F. Galautdinov, Vladislav N. Akbashev, Ksenia V. Danilko, Svetlana V. Piatnitskaia, Iskander Sh. Akhatov, Dmitry V. Dzhurinskiy, Ruslan V. Abdrakhimov, Irina V. Burenina, Ruslan R. Ishemgulov

Bashkir State Medical University, Ufa, Russian Federation

*Correspondence to: Azat R. Bilyalov, e-mail: azat.bilyalov@gmail.com

Abstract

Introduction. Additive manufacturing of hydroxyapatite (HA) ceramics is considered a promising approach to creating personalized bone implants. However, highly loaded photopolymer suspensions assume precise composition and exposure conditions to ensure stable printing and product quality. The present study aims to develop a photopolymer suspension based on HA of in-house synthesis for the additive production of ceramic implants using DLP 3D printing. **Materials and methods.** HA is synthesized by coprecipitation and hydrothermal synthesis methods in aqueous solutions of calcium and phosphate salts. The powder is milled and fractionated for assessing the morphology and element composition using scanning electron microscopy and energy-dispersive X-ray fluorescence analysis, respectively. A photopolymer suspension with 60 wt. % of the inorganic phase, developed based on the synthesized HA, contains acrylate monomers, photoinitiating system and dispersing additives. In addition, photopolymerization is studied on a DLP 3D printer at different UV radiation powers and exposure times. **Results and discussion.** The synthesized well-crystallized HA has lamellar and nanostructured morphology, as well as developed porosity; the predominance of calcium and phosphorus without significant toxic impurities is confirmed. At a radiation power of 40 mW/cm², the optimal exposure time of 6–10 s ensures the formation of uniformly hardened layers with a thickness of about 0.7–0.9 mm and a thickness plateau at a further increase in exposure time. **Conclusion.** The obtained data indicate that the combination of controlled HA morphology and specially selected photopolymer matrix provides sufficient polymerization depth and layer stability required for DLP printing of complex geometries. High specific surface area and porosity of HA further enhance its potential in tissue engineering. The developed photopolymer suspension based on HA of in-house synthesis demonstrates suitability for DLP 3D printing and can be used as a basis for creating personalized ceramic implants in traumatology, orthopedics, neurosurgery, and maxillofacial surgery.

Keywords: 3D printing, ceramics, implants, DLP, hydroxyapatite, hydrothermal synthesis, photopolymer suspension

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

Sponsorship data. The work was carried out as part of a priority applied scientific research project carried out within the framework of a state assignment from the Russian Ministry of Health. State registration number in EGISU NIOKTR — 124121700079-8.

Author contributions. The authors contributed equally to this article.

For citation: Bilyalov A.R., Karchevsky S.G., Tikhonov A.A., Galautdinov M.F., Akbashev V.N., Danilko K.V., Piatnitskaia S.V., Akhatov I.Sh., Dzhurinskiy D.V., Abdrakhimov R.V., Burenina I.V., Ishemgulov R.R. Development of photopolymer hydroxyapatite suspensions for 3D printing in medicine. *Creative Surgery and Oncology*. 2025;15(4):364–375. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-364-375>

Received: 22.09.2025

Revised: 31.10.2025

Accepted: 10.11.2025

Azat R. Bilyalov — Cand. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Department of Traumatology and Orthopedics, orcid.org/0000-0002-1273-9430

Stanislav G. Karchevsky — Laboratory of Additive Technologies, orcid.org/0000-0001-6778-4872

Andrey A. Tikhonov — Laboratory of Additive Technologies, orcid.org/0000-0003-3372-5393

Mars F. Galautdinov — Laboratory of Additive Technologies, orcid.org/0000-0003-4284-5696

Vladislav N. Akbashev — Department of Traumatology and Orthopedics, orcid.org/0000-0009-0000-7070-217X

Ksenia V. Danilko — Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof., Laboratory of Cell Cultures, orcid.org/0000-0002-4374-2923

Svetlana V. Piatnitskaia — Cand. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Bioprinting Laboratory, orcid.org/0000-0002-4317-8146

Iskander Sh. Akhatov — Dr. Sci. (Phys. and Math.), Prof., Chief Researcher, Laboratory of Mathematical Simulation, orcid.org/0000-0003-4772-2302

Dmitry V. Dzhurinskiy — Cand. Sci. (Engineering), Assoc. Prof., Senior Researcher, Laboratory of Mathematical Simulation, orcid.org/0000-0003-0256-0645

Ruslan V. Abdrakhimov — Department of Urology and Oncology, orcid.org/0000-0002-2311-4452

Irina V. Burenina — Dr. Sci. (Economics), Prof., Department of Economics and Management, orcid.org/0000-0002-9530-516X

Ruslan R. Ishemgulov — Cand. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Department of Urology and Oncology, orcid.org/0000-0001-9521-4957

ВВЕДЕНИЕ

Заболевания опорно-двигательной системы, травмы и дефекты становятся все более распространенной медицинской проблемой в эпоху старения населения и увеличения случаев травматизации. Для восполнения дефектов костной ткани традиционно применялись аутогенные и аллогенные трансплантаты, однако наличие ограничений — риск иммунного отторжения, недостаток донорского материала, сложные хирургические манипуляции — подталкивает исследователей к поиску новых синтетических материалов, обеспечивающих необходимую биосовместимость и функциональность. Гидроксиапатит ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, ГА) — основной неорганический компонент костей — считающийся «золотым стандартом» среди всех биоматериалов, получил особое распространение благодаря химической инертности, выраженной остеокондуктивности и способности способствовать интеграции с живой тканью [1–5]. Традиционные методы формирования изделий из керамики, такие как прессование и изостатическое литье, не позволяют создавать сложные трехмерные структуры и ограничены по возможностям индивидуализации — как в размере, так и в распределении пор. Это объективно снижает потенциал внедрения керамики в области персонализированной медицины, регенеративной хирургии, имплантологии, реконструктивной стоматологии и протезирования [1, 6–9].

Активизация исследований в области аддитивных технологий и 3D-печати открыла новые горизонты в костной инженерии и создании индивидуальных синтетических трансплантатов. В частности, фотополимеризация (SLA/DLP) как наиболее перспективная и технологичная методика среди современных аддитивных процессов позволяет получать конструкции сложной архитектуры, обладающие требуемыми механическими, физико-химическими и морфологическими характеристиками. Направленное формирование биоматериала под контролем программного обеспечения обеспечивает высокое совпадение конечного изделия с виртуальным шаблоном, позволяет варьировать пористость, размеры и пространственное распределение пор, что особенно актуально для травматологии и ортопедии [1, 2, 5, 6, 8–10].

Использование гидроксиапатита расширило спектр возможностей тканевой инженерии: с одной стороны, материал проявляет превосходную совместимость с костной тканью, с другой — подвержен биодеградации с выделением ионов Ca и PO_4 , стимулирующих остеогенез. Обратной стороной гидроксиапатита является его хрупкость и относительно низкая механическая прочность по сравнению с металлическими конструкциями или некоторыми композитами [4, 6, 9, 11–13].

Кроме того, формирование достаточного объема межзерновых пор в изделиях на базе ГА становится определяющим фактором для ангиогенеза, регенерации сосудистого русла и миграции клеток в зону трансплантации. Именно поэтому одной из ключевых задач разработки биоматериалов на основе ГА становится тонкое управление архитектурой пористой структуры,

морфометрическими параметрами, а также обеспечение контролируемых характеристик механики и деградации [2, 6, 8].

Методы фотополимеризации (в частности, SLA и DLP) основаны на управляемой полимеризации жидкой композитной смеси под действием направленного света заданной длины волны (обычно в диапазоне UV, 365–405 нм). Классическая фотополимерная суспензия представляет собой дисперсию неорганических частиц твердой фазы (гидроксиапатит, оксид алюминия, оксид циркония) в смеси органических мономеров и олигомеров, способной к отверждению под влиянием света. Эффективная работа системы во многом определяется количеством и размером твердых частиц, их степенью диспергирования, вязкостью, а также светопрозрачностью и поглощением света в толще материала [4, 7, 13–17].

Сложность заключается в том, что высокая концентрация гидроксиапатита (>40–50 об.%) необходима для получения керамики с минимальной усадкой и достаточной конечной прочностью, но это приводит к росту вязкости и повышению вероятности агрегации, уменьшению глубины проникновения света и риску получения недостаточно отвержденных слоев. Для решения этих проблем используются специальные поверхностно-активные вещества, молекулярные аддитивы, а также фоточувствительные компоненты, способные регулировать энергетические параметры полимеризации [2, 4, 13–16].

Последние три года ознаменованы бурным ростом публикаций, посвященных созданию фотополимерных керамических суспензий, оптимизации их свойств и внедрению в регенеративную хирургию, протезирование, стоматологию и нейрохирургию. Рассматриваются ключевые параметры керамической аддитивной технологии, такие как:

— влияние размера, морфологии и природы частиц ГА на их распределение и стабильность суспензии, оптические свойства, чувствительность к фотополимеризации, а также на итоговую микроструктуру и прочность керамики [2, 3, 7, 18];

— подбор и роль мономеров и олигомеров, таких как диакрилат полиэтиленгликоля (PEGDA), триметилпропан триакрилат (TMPTA), пентаэритритол тетраацетат (PETTA) и др., организация связи «ГА — органическая матрица», влияние различных хемоиндуцированных радикалов на ход цепной полимеризации [16, 19];

— роль диспергаторов и поверхностно-активных веществ (ПАВ) (олеиновая кислота, полиакрилаты, поликарбоксилаты, поверхностные ионогенные и неионогенные соединения), их влияние на реологию, стабильность, оседание частиц [14, 15];

— фотоинициаторы, оптические абсорберы, скорость реакции и перенос света в толще материала — параметры, критически важные для возможности печати слоев толщиной 50–200 мкм без дефектов сцепления по Z, со стабильной геометрией и однородной микроструктурой [4, 16, 17, 20];

— аппаратная составляющая: параметры DLP (Digital Light Processing, цифровая обработка светом) и SLA

(Stereolithography, лазерная стереолитография) DLP/SLA-принтеров, формирование светового паттерна, оптимизация экспозиции [1, 6, 9, 21];

— постпроцессинг: очистка от неполимеризованной смолы, дефекты, возникающие при очистке от связующего, многоступенчатые температурные режимы термического удаления органических составляющих с контролем целостности материала, технологические особенности и механизмы спекания гидроксиапатита [22, 23];

— оценка механических свойств, микроструктуры, биологической совместимости, *in vitro* испытания с клетками костной ткани и перспективы внедрения технологии аддитивного производства в клинику [6, 8, 11, 24–26].

Исходя из актуальности описанных вызовов и тенденций, в данной работе были поставлены задачи разработки оптимальной рецептуры фотополимерной суспензии (основанной на ГА собственного синтеза, акрилатах и современных дисперсантах) с максимальной объемной долей неорганической фазы для DLP-принтеров стандартного разрешения печати.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве минерального наполнителя фотополимерной суспензии использован гидроксиапатит лабораторного синтеза, обеспечивающий биологическую совместимость, остеокондуктивность и схожесть по составу с минеральной фазой человеческой кости.

Методы синтеза гидроксиапатита существенно влияют на свойства получаемого материала и его пригодность для применения в фотополимерных суспензиях для 3D-печати. Наиболее распространенными являются четыре основных метода: твердофазный (твердотельный), осаждения (соосаждения), золь-гель и гидротермальный.

Твердотельный метод синтеза гидроксиапатита основан на смешивании и спекании исходных порошков при высоких температурах. Преимущества — простота,

низкая стоимость и возможность получения стехиометрического ГА, однако метод требует высоких температур (часто выше 1000 °С) и длительной термообработки, приводит к агломерации и росту кристаллитов, что затрудняет диспергирование в фотополимерных суспензиях для 3D-печати (табл. 1).

Метод осаждения (соосаждения) осуществляется путем смешивания солей кальция и фосфатов в растворе с контролем pH, температуры и скорости перемешивания. Позволяет получать ГА наночастицы с регулируемой морфологией, чистотой и минимальным количеством побочных соединений (чаще всего продуктом реакции является вода). Однако требуется строгий контроль условий, чтобы избежать образования Са-дефицитного ГА, и продукт чувствителен к параметрам синтеза. Метод широко применяется для создания суспензий для 3D-печати и обсуждается в многочисленных работах, включая недавние международные обзоры [27].

Золь-гель подход применяется для получения высокочистого нанодисперсного гидроксиапатита при сравнительно низких температурах. Его основные достоинства — гибкий контроль размеров частиц и структуры, высокая гомогенность распределения, что положительно сказывается на стабильности фотополимерных суспензий. К минусам относят чувствительность к условиям процесса и необходимость дополнительного термоотжига. Метод хорошо охарактеризован в зарубежных публикациях, анализирующих его потенциал в аддитивных технологиях [28].

Гидротермальный синтез осуществляется в автоклаве при повышенных температуре и давлении, что обеспечивает получение материала высокой кристалличности и специфичной морфологии, пригодной для биомедицинского применения. Требуется сложное оборудование, энергозатратен, процесс длительный. Его преимущества для производства ГА с управляемой морфологией и высокой однородностью особо подчеркиваются в обзорах последних лет, особенно для

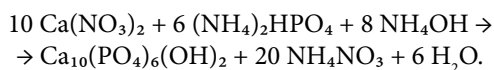
Метод синтеза	Преимущества	Недостатки	Источники
Твердотельный	Легко выполнимый; недорогой; образуется стехиометрический гидроксиапатит (ГА)	Требуется высокой температуры спекания; длительное время обработки	[29–32]
Осаждения (соосаждения)	Может производить наночастицы гидроксиапатита (ГА); возможное промышленное производство; вода является единственным побочным продуктом	Трудности получения стехиометрического гидроксиапатита (ГА); требуется высокая кислотность (pH), чтобы предотвратить образование кальций-дефицитного гидроксиапатита; необходима высокая температура спекания для формирования кристаллического гидроксиапатита; продукт очень чувствителен к условиям реакции, таким как pH, скорость перемешивания, температура сушки и др.	[33, 34]
Золь-гель	Может производить наночастицы гидроксиапатита (ГА); происходит однородное молекулярное смешивание; требуется низкая температура обработки; повышенный контроль над чистотой фаз	Сложность гидролиза фосфата; дорогостоящие исходные химикаты	[35–37]
Гидротермальный	Хорошо кристаллизованный и однородный порошок; наногидроксиапатит (нано-ГА) был синтезирован	Агломерация порошков гидроксиапатита (ГА) является обычным явлением; для обработки требуются высокие давления	[37–40]

Таблица 1. Преимущества и недостатки некоторых методов синтеза ГА

Table 1. Advantages and disadvantages of some methods for hydroxyapatite synthesis

задач тканевой инженерии и персонифицированных имплантов, например у P. Nasker и соавт. (2022).

Для наполнения фотополимеризуемой композиции для керамической печати мы применяли ГА, который синтезировали самостоятельно двумя различными методами. Синтез ГА осуществляли из прекурсоров — нитрата кальция ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) и гидрофосфата аммония ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$) в щелочных условиях методами соосаждения (А) и гидротермального синтеза (Б) по уравнению:



Методически способ А (соосаждение) осуществляли следующим образом:

1. Подготовка растворов. Подготавливали 2 водных раствора: нитрата кальция и фосфата аммония. Молярное отношение кальция к фосфору задавали 5:3 (1,67), что соответствует стехиометрии гидроксиапатита.
2. Процесс соосаждения проводили в реакционном сосуде с мощным перемешиванием магнитной мешалкой. Первым подавали раствор нитрата кальция, затем по каплям, со скоростью не более 2 мл/мин, вводили раствор фосфата аммония при непрерывном перемешивании, чтобы обеспечить гомогенное смешивание. Температуру реакции обычно поддерживали в диапазоне комнатной температуры (до 40 °С). Кислотно-основное состояние с $\text{pH} > 10$ поддерживали гидроксидом аммония (NH_4OH).
3. После окончания добавления растворов полученный осадок оставляли для выдержки (старения) в маточном растворе на 24 часа при комнатной температуре, что способствовало формированию и кристаллизации гидроксиапатита.
4. Образовавшийся осадок фильтровали с использованием фильтрации под вакуумом. Затем проводили промывку осадка дистиллированной водой для удаления побочных веществ, примесей и солей (pH -промывки не ниже 7,0).



Рисунок 1. Установка для гидротермального синтеза гидроксиапатита
Figure 1. Hydrothermal plant for hydroxyapatite synthesis

5. Промытый осадок сушили при температуре 80 °С в течение 48 часов. Высушенный порошок прокаливали при температуре 600 °С в течение 2 часов для улучшения кристалличности и удаления органических остатков.

6. Для измельчения и получения наночастиц использовали планетарную мельницу с шарами из оксида циркония.

Методика синтеза гидроксиапатита гидротермальным способом (Б) основана на реакции в водной среде при повышенных температурах (200 °С) и давлениях, которые достигаются в герметичной автоклавной среде.

Растворы перемешивают до получения гомогенной смеси, после чего помещают в реактор (автоклав). Реакция проводится под гидротермальными условиями при температуре 190 °С, давлении 1,55 МПа и времени 24 часа. Магнитная мешалка была выставлена на 326 об/мин. В ходе реакции происходит термическое разложение кальциевых комплексов и формирование гидроксиапатитных кристаллов с контролируемой морфологией (рис. 1).

По окончании синтеза проводили охлаждение автоклава до комнатной температуры, после чего полученную суспензию фильтровали деионизированной водой и спиртом (в объемном соотношении 1:1) для удаления растворенных примесей.

Полученный осадок сушили при температуре около 80 °С в течение 48 часов.

Эта методика обеспечивает получение чистого высоко кристаллизованного гидроксиапатита с заданной формой кристаллов и высокой биосовместимостью [41].

Приготовление фотополимерной суспензии

Работы по созданию фотополимерной пасты проводились при освещении желтым светом, что обеспечивало предотвращение преждевременного отверждения и стабильность исходных компонентов. Желтый свет имеет более длинную волну (>590 нм) и не активирует фотоинициаторы, чувствительные к более коротковолновому излучению, что предотвращает нежелательное начало полимеризации. Это позволяет безопасно проводить подготовительные операции с фотополимерными системами в условиях лаборатории без риска нехарактерного отверждения.

Перед началом работ все реактивы и материалы проходили внутренний контроль качества, включая визуальный осмотр, проверку целостности упаковки, проверку срока годности и однородности смеси.

Получение стабильной, высоконагруженной и пригодной для фотополимеризации суспензии на основе гидроксиапатита — ключевая технологическая задача, требующая последовательного и поэтапного смешивания компонентов по специально разработанному протоколу. Помимо достижения равномерного распределения минерального наполнителя в органической фазе, особое внимание уделяется минимизации агрегации частиц, предотвращению всплывания и оседания, устранению воздушных пузырей, а также обеспечению сохранения рабочих свойств суспензии в течение не менее 7 суток.

Перед введением в суспензию порошок ГА дегидратировали в вакуумном сушильном шкафу при температу-

ре 80 °С 12–16 ч, затем охлаждали до комнатной температуры в эксикаторе. При необходимости проводилась дополнительная диспергация сухого порошка в планетарной шаровой мельнице для разрушения агломератов и выравнивания диапазона D10–D90. Порошок просеивали через сито с размером ячеек 40 мкм.

Доля ГА в создаваемой фотополимерной суспензии составляла 60% по массе. Акрилатные и метакрилатные мономеры смешивали в стеклянной посуде в пропорциях согласно рецептуре (базовый мономер — поли(этилен гликоль) диакрилат (PEGDA_{400–500}) — 25%, со-мономер — поли(пропилен гликоль) диакрилат — 5%, 4-гидроксипропан триакрилат — 5%, сшивающий агент — триметилпропан триакрилат — 5%) при комнатной температуре в течение 20 минут на магнитной мешалке. Далее добавляли фотоинициатор — дифенил (2,4,6-триметилбензоил) фосфиноксид, а в качестве соинициатора — 2-гидрокси-2-метилпропионфенон в соотношении 3:1, предварительно разведенные в небольшом объеме базового мономера для лучшего распределения. При необходимости добавляли ограничитель роста цепи.

После достижения требуемого распределения мономеров добавляли порошок ГА небольшими порциями (по 1–2 г) при постоянном перемешивании на механической верхней мешалке (стержневая лопатка, 150 об/мин) в подготовленную органическую фазу при 22–25 °С. После каждой порции смесь перемешивали до исчезновения визуально определяемых агломератов. Общая продолжительность этапа загрузки для партии 100 г суспензии — 25–35 мин.

При высокой нагрузке (~60 об.%) последние порции порошка вводили крайне медленно, анализируя увеличение вязкости визуально и по реакциям на вращение лопасти. Суспензию перемешивали еще не менее 1 часа для полного взаиморастворения компонентов.

Удаление пузырей и дегазацию проводили в вакуумной установке (20–50 мбар) на 15–25 мин с периодическим (через 5 мин) ручным встряхиванием емкости или коротким слабым перемешиванием. Это предотвращало вспенивание и позволило удалить микропузырьки, которые негативно влияют на фотополимеризацию и механические свойства в готовых изделиях.

После дегазации суспензию перемешивали на магнитной мешалке в темноте 10–20 мин. Следили за однородностью внешнего вида (отсутствие осадка, ровная консистенция), возможное образование пленки на поверхности устраняли аккуратным снятием лопаткой.

Готовую суспензию фасовали в темные флаконы из полиэтилентерефталата при комнатной температуре, хранили в холодильнике (4–8 °С) не более 10 дней. Перед подачей в картридж принтера производили перемешивание вручную (или встряхивание 2 мин) для возврата исходной консистенции.

Оценка фотополимеризующейся суспензии и операций 3D-печати. Тест на фотополимеризацию

Первоначально оценивалась эффективность полимеризации суспензии. Круглые капли, нанесенные на предметное стекло, формировали объекты размером

до 1 см. На каждое покрывное стекло наносили 3 капли пасты. Капли не растирали и не выравнивали дополнительно. Всего подготовлено 18 образцов. Для каждого теста использовали по 9 образцов пасты.

Засветка проводилась на 3D-принтере AM-Tech C-100 (Россия) (рис. 2 А). Время экспозиции для серии образцов изменялось ступенчато: 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 20 секунд. Было выполнено два теста: тест 1 — мощность УФ-излучения 3,5 мВт/см²; тест 2: мощность УФ-излучения 40 мВт/см² (значение, используемое при рутинной печати керамическими суспензиями). Параметры принтера (приведены для воспроизводимости): высота подъема — 200 мкм; толщина слоя — 50 мкм; итоговая высота — 6000 мкм; скорость — 40 мм/с; скорость L5–83,33 мм/с; скорость L0–0,33 мм/с.

Сразу после засветки проводили механическую очистку образцов от неполимеризованных мономеров и ГА с помощью кисточки (рис. 2 В), а затем их помещали в ультразвуковую ванну ВУ-09-Я-ФП-01 (ООО «Ферропласт Медикал», Россия) с изопропиловым спиртом на 3 минуты для полной очистки (рис. 2 С). Сушка после очистки проводилась естественным образом.

В процессе всего экспериментального цикла осуществлялось осушение воздуха в лаборатории промышленным осушителем «Par-Tuman EAL PT-90 Д» (Россия) с воздухообменом 750 м³/ч.

Толщина полимеризованного слоя измерялась цифровым штангенциркулем TUNDRA (погрешность ±0,02 мм). Для каждого образца выполняли 3 независимых измерения в трех различных точках образца. Для каждой комбинации «паста — время экспозиции — мощность» вычислялись средние значения толщины по трем измерениям внутри образца. Каждый набор условий тестировался на трех образцах (рис. 2D и 2E).

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) порошка гидроксиапатита после синтеза необходима для детального изучения морфологии и микроструктуры частиц. Этот метод позволяет визуализировать размер, форму, распределение и агломерацию частиц на нанометровом и микрометровом уровне, что напрямую влияет на свойства и поведение материала в дальнейшем применении. Кроме того, СЭМ помогает выявить однородность полученного порошка, наличие дефектов, пористость и текстуру поверхности, что существенно для оценки качества синтезированного гидроксиапатита. СЭМ является критически важным методом контроля и подтверждения успешности синтеза гидроксиапатита, обеспечивая ценные данные для оптимизации технологии и обеспечения качества конечного продукта.

Перед проведением микроскопии образцы покрывали золотом на настольной установке магнетронного напыления DSR1 (Nanostructured coatings Co, Иран). Образцы закрепляли на алюминиевые стебы для СЭМ диаметром 1 см с помощью электропроводящей ленты. Далее на образцы наносили слой золота толщиной 20–30 Å с помощью напылительной установки в автоматическом режиме.

Анализ ГА проводили с помощью СЭМ на сканирующем электронном микроскопе KYKY-EM6900LV, KYKY Technology Co., Ltd. (Китай). Устанавливали режим

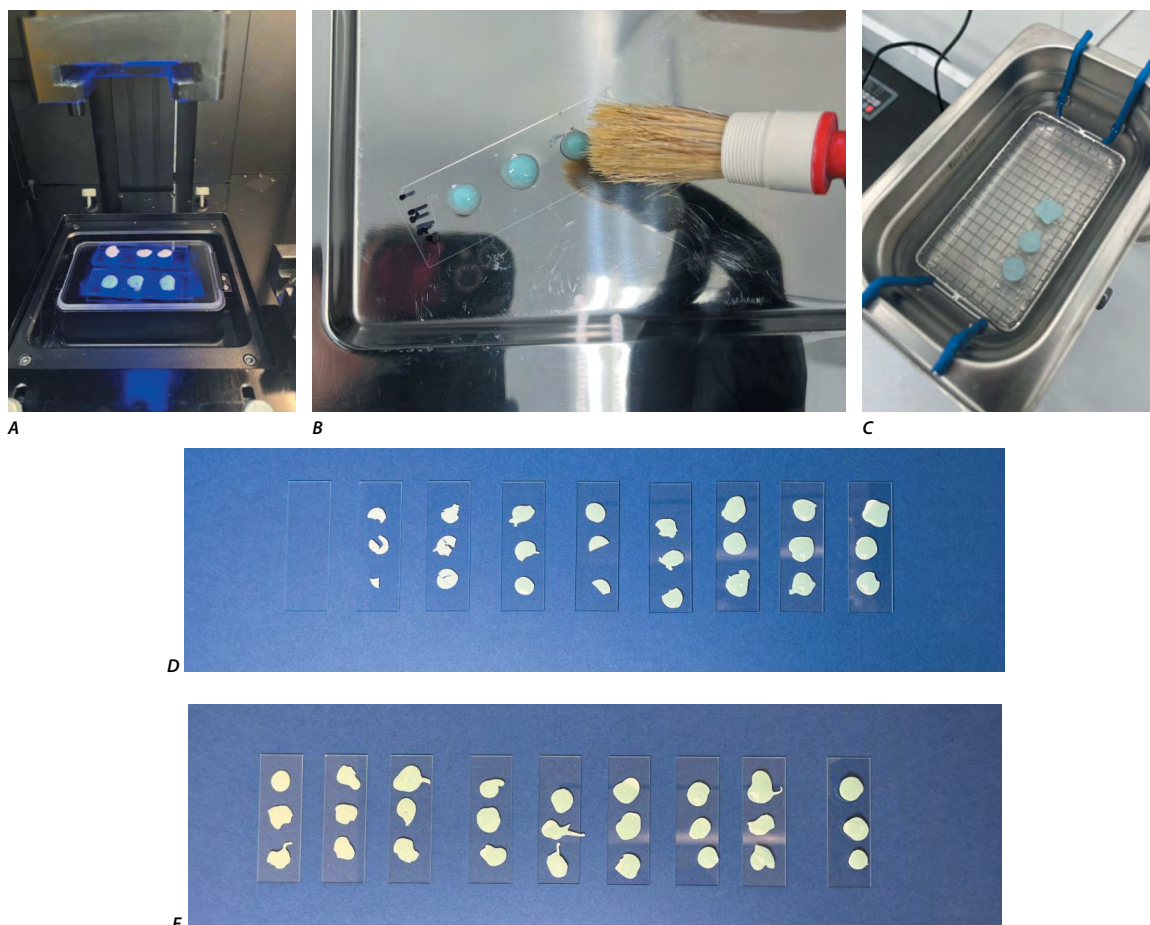


Рисунок 2. Проведение теста на фотополимеризацию суспензии: А — расположение тестовых стекол в принтере; В — этап механической очистки; С — промывка в ультразвуковой ванне; D — тест на 3 Вт/см²; E — тест на 40 Вт/см²
Figure 2. Suspension photopolymerization test: A — location of test glasses in the printer; B — mechanical cleaning stage; C — ultrasonic bath rinsing; D — test at 3 W/cm²; E — test at 40 W/cm²

высокого вакуума, напряжение 11–13 В, рабочее расстояние 10–14 мм, использовали детектор SE электронов (Secondary Electron Imaging).

Рентгенофлуоресцентный спектрометрический анализ (РФА)

Анализ образцов гидроксиапатита на настольном энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре Xenometrix X-Calibur выполняли по стандартной методике для порошковых материалов с учетом требований производителя прибора и литературных данных по EDXRF-анализу гидроксиапатита.

Порошок гидроксиапатита предварительно сушили до постоянной массы при умеренной температуре для удаления сорбированной влаги и летучих примесей. Затем материал диспергировали в агатовой ступке до получения однородного порошка и при необходимости просеивали через сито (<60 мкм), чтобы минимизировать эффект зернистости и обеспечить воспроизводимость результатов.

Полученный порошок засыпали в стандартные пластиковые кюветы/ячейки РФА, дно которых закрывали тонкой пленкой, обеспечивающей механическую

устойчивость и минимальное собственное поглощение излучения. Порошок аккуратно уплотняли трамбовкой или легким прессованием до получения ровной поверхности без растрескиваний, после чего кюветы герметизировали крышкой для предотвращения просыпания и загрязнения.

Измерения проводили на настольном EDXRF-спектрометре Xenometrix X-Calibur, оснащенный рентгеновской трубкой с анодом Rh/Ag/Pd (50 Вт) и кремниевым дрейфовым детектором (SDD), обеспечивающим регистрацию характеристического излучения элементов от Na до U. Для порошковых образцов гидроксиапатита использовали режим возбуждения в воздушной атмосфере с подбором фильтров трубки, оптимизированных для одновременного определения Ca, P и возможных примесных элементов.

Параметры облучения подбирали таким образом, чтобы обеспечить достаточное соотношение сигнал/шум и избежать перегрузки детектора: типично напряжение 15–50 кВ, ток до нескольких миллиампер и время измерения 100–300 с на точку. Для каждого образца выполняли не менее трех повторных измерений в разных зонах поверхности порошка, что позволяло оценить

однородность распределения элементов и статистическую погрешность.

Обработку спектров выполняли штатным ПО спектрометра: автоматическое вычитание фона, коррекция вкладов побочных пиков и наложения линий, последующая аппроксимация пиков и пересчет интенсивностей в массовые доли элементов. Для гидроксиапатита рассчитывали массовые доли Са и Р, определяли мольное отношение Са/Р и, при необходимости, количественно оценивали содержание примесных элементов на уровне ppm-мас. %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты, полученные в ходе исследования, показывают, что повышение мощности УФ-излучения с 3,5 до 40 мВт/см² значительно улучшает процесс фотополимеризации суспензии на основе гидроксиапатита, что проявляется в увеличении степени отверждения и толщины сформированного слоя (рис. 3). При мощности 40 мВт/см² оптимальное время экспозиции для суспензии ГА составляет 6–10 секунд, что позволяет получать стабильный слой толщиной около 0,7–0,9 мм. Дальнейшее увеличение времени экспонирования незначительно влияет на толщину, указывая на выход процесса на плато, когда все доступные для реакции фотоинициаторы исчерпаны или достигается максимальная степень затвердевания.

Это подтверждает хорошую фоточувствительность суспензии и ее пригодность для печати на DLP-принтерах, которые полагаются на точное управление мощностью УФ-света для формирования слоев. Ключевой вывод состоит в том, что существует тесная связь между энергией света (произведенной мощностью и временем экспозиции) и глубиной полимеризации: увеличение энергии облегчает более глубокое проникновение света в суспензию и активирует фотоинициаторы на большей глубине, что ведет к более толстым и прочным слоям.

При этом плато по толщине слоя говорит о том, что сверх оптимальных условий дополнительные фотоинициаторы уже не активируются, что важно для контроля качества печати и предотвращения избыточного отверждения с побочными эффектами — например снижением детализации или внутренними напряжениями в слое. Такие результаты типичны для фотополимерных суспензий в DLP-печати, где выдержка времени и мощность должны быть оптимизированы для баланса между точностью, скоростью и качеством.

В целом эти тесты подтверждают, что выбранная фотополимерная суспензия ГА подходит для быстрой и качественной послойной печати, а измерение плотности отверждения в зависимости от экспозиции и световой мощности позволяет эффективно настроить параметры процесса 3D-печати для достижения заданных характеристик деталей. Применение мощного УФ-излучения в сочетании с тщательно подобранным временем экспозиции соответствует современным представлениям о фотополимеризации в DLP-технологиях и способствует высокой производительности и качеству изделий на этом уровне мощности и времени.

Сканирующая электронная микроскопия

Результаты проведения СЭМ зафиксировали два принципиально различных морфологических типа частиц, что позволяет сделать вывод о формировании кристаллического гидроксиапатита с выраженной анизотропией роста и последующей дезагрегацией крупных агломератов в процессе помола.

На снимках хорошо видны крупные изометричные и удлиненные пластинчатые кристаллы с четко очерченными гранями и ступенчатым рельефом, характерным для кристаллического гидроксиапатита, растущего по призматическому и пластинчатому механизму в водной среде. На отдельных частицах наблюдаются сколы и клиновидные выступы, свидетельствующие о хрупком разрушении по плоскостям спайности при механическом

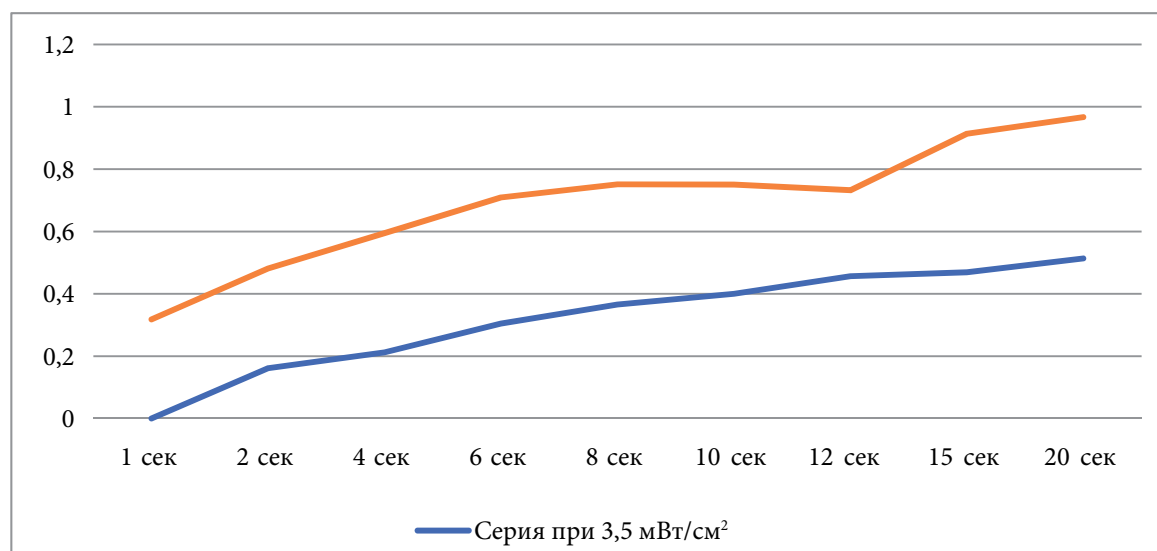


Рисунок 3. График зависимости толщины полимеризации суспензии ГАП от времени экспозиции и мощности засветки
Figure 3. Polymerization thickness of hydroxyapatite suspension vs exposure time and UV power

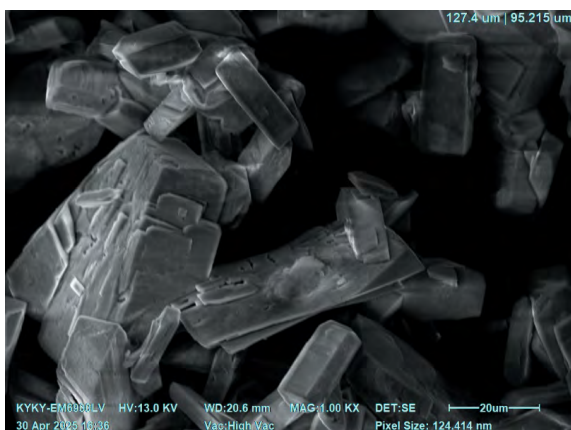


Рисунок 4. Исходная кристалломорфология синтезированного гидроксиапатита до помола

Figure 4. Initial crystal morphology of synthesized hydroxyapatite before milling

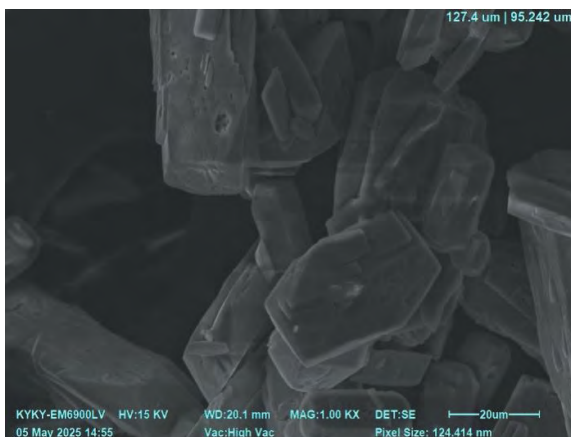


Рисунок 5. Агломерат пластинчатых кристаллов, частично ориентированных и перекрывающих друг друга, образуя пространственный «каркас» с системой межкристаллических пор и каналов

Figure 5. Agglomerate of partially oriented plate crystals overlapping each other to form a spatial "framework" with a system of intercrystalline pores and channels

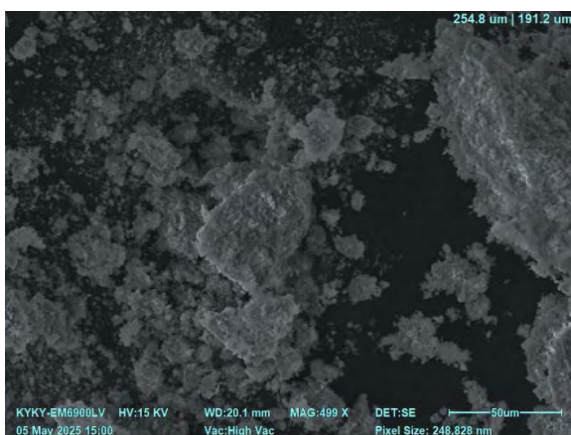


Рисунок 6. Визуализируются крупные кристаллические частицы гидроксиапатита неправильной, преимущественно пластинчатой, формы, образующие рыхлые агломераты с развитой межчастичной пористостью

Figure 6. Large crystalline hydroxyapatite particles of irregular, predominantly lamellar shape in loose agglomerates with developed interparticle porosity

воздействию. Размеры отдельных кристаллов достигают десятков микрометров по длине и нескольких микрометров по толщине, что указывает на относительно медленный рост кристаллов и отсутствие жестких ограничений по перенасыщению раствора.

На низком увеличении (порядка 500×) порошок представлен рыхлыми агрегатами неправильной формы с развитой пористостью и крупными межагломератными порами темного контраста (рис. 4). Такие структуры типичны для осажденного гидроксиапатита после сушки и прокаливания, когда первичные кристаллы сцепляются между собой по контактными гранями. Наличие как массивных агломератов, так и более мелких сыпучих фрагментов указывает на неравномерную прочность межкристаллитных связей и подтверждает эффективность последующего стадийного помола для получения фракций с контролируемым размером частиц (рис. 5).

На изображении с увеличением 5000× видны сильно диспергированные частицы, образующие губчатые конгломераты из субмикронных и нанометрических кристаллитов. Края частиц размыты, отдельные кристаллы фрагментированы, что соответствует интенсивному механическому измельчению исходных пластинчатых кристаллов. Уменьшение характерного размера до единиц сотен нанометров в сочетании с высокой удельной поверхностью свидетельствует о формировании наноструктурированного гидроксиапатита, перспективного для применения в биорезорбируемых покрытиях и композиционных матрицах.

Частицы имеют форму удлиненных и изометричных пластин и блоков с четкими гранями и плоскими фасетками, что свидетельствует о направленном кристаллическом росте в условиях контролируемого перенасыщения раствора. На ряде кристаллов прослеживаются ступенчатые участки и сколы по плоскостям, характерным для анизотропного роста.

Наличие крупных межагломератных пор указывает на потенциально высокую смачиваемость и хорошую пропитку связующим при дальнейшем введении в фотополимеризующую суспензию.

Агломераты формируют сеть мелких пор и каналов, обеспечивающих очень высокую удельную поверхность и потенциально высокую активность материала (ускоренная растворимость, улучшенная сорбционная способность, повышенная реакционная способность при спекании) (рис. 6). Такая морфология подтверждает эффективность стадии помола для перехода от крупнокристаллического к наноструктурированному гидроксиапатиту и делает данный порошок перспективным для применения в биоактивных покрытиях и наполнителях для полимерных матриц (рис. 7).

Совокупность морфологических признаков позволяет заключить, что выбранные условия синтеза обеспечивают формирование хорошо кристаллизованного гидроксиапатита с выраженной анизотропией роста кристаллов и последующей возможностью регулировать дисперсность методом механического помола. Наличие как крупных пластинчатых кристаллов, так и их субмикронных фрагментов указывает на сохранение фа-

зовой однородности материала при изменении размера частиц, что важно для воспроизводимости свойств в дальнейшем.

Энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный анализ образца гидроксиапатита

EDXRF, выполненный на настольном спектрометре Xepemetrix X-Calibur, показал, что спектр представлен интенсивными пиками элементов кальция и фосфора при энергиях их характеристических линий K-серии. Это подтверждает, что основой материала является фосфат кальция апатитного типа и что матрица образца химически однородна по основным катиону и аниону (рис. 8).

Помимо основных элементов, в низкоэнергетической области спектра регистрируются сигналы кислорода и углерода, связанные, соответственно, с оксидной природой фосфата кальция и возможными следами углеродсодержащих примесей или остаточного органического компонента подготовительного этапа (табл. 2). Пики легких элементов имеют меньшую интенсивность и более широкий профиль, что согласуется с ограниченной чувствительностью EDXRF-метода к элементам с низким атомным номером и не указывает на существенное отклонение от стехиометрического состава гидроксиапатита.

В спектре также идентифицируются слабые линии примесных элементов (например, Al, Sr и др.), амплитуда которых существенно ниже по сравнению с основными пиками Ca и P. Наличие этих сигналов может быть обусловлено как особенностями исходных реагентов или модифицирующих добавок, так и вкладом матрицы подложки или элементов конструкции ячейки спектро-

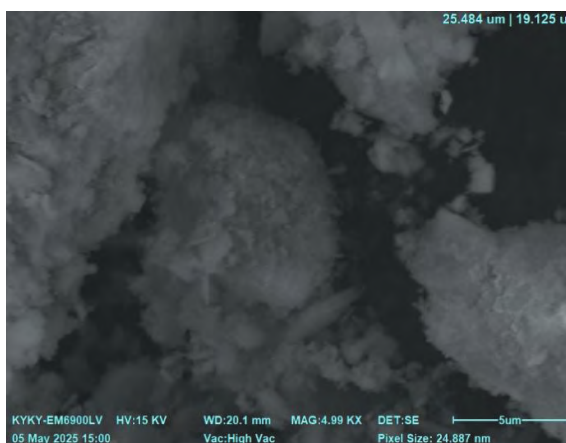


Рисунок 7. На высоком увеличении наблюдаются сильно измельченные частицы гидроксиапатита, сгруппированные в рыхлые губчатые агломераты

Figure 7. Highly crushed hydroxyapatite particles grouped into loose spongy agglomerates at high magnification

метра; их суммарная доля в составе образца оценивается как незначительная.

Отсутствие выраженных пиков тяжелых и потенциально токсичных элементов (Pb, Cd и др.) свидетельствует о высокой химической чистоте синтезированного гидроксиапатита и отсутствии критичных по биомедицинским требованиям загрязнений. Полученный спектр в целом характерен для высококачественного гидроксиапатита, а соотношение интенсивностей линий Ca и P соответствует ожидаемому для материала с близкой к стехиометрической мольной долей Ca/P, что подтверждает корректность выбранных условий синтеза и термообработки образцов.

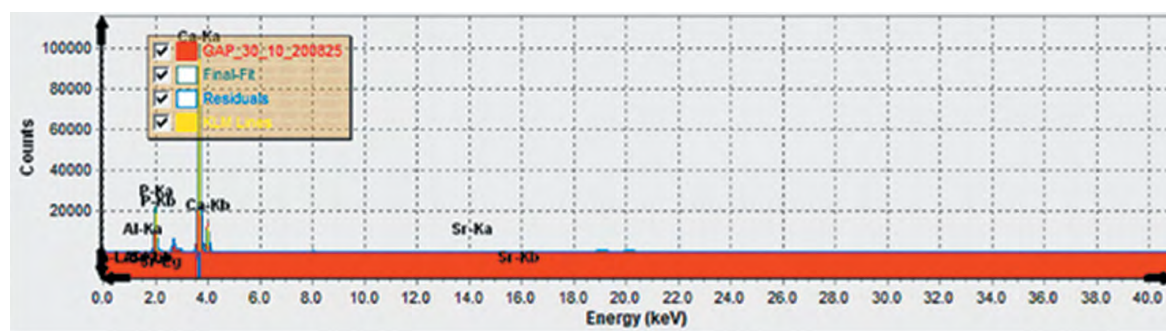


Рисунок 8. Результаты энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа образца гидроксиапатита

Figure 8. Results of energy-dispersive X-ray fluorescence analysis of a hydroxyapatite sample

Элемент	Линия	Интенсивность	Концентрация	Ед. измер.
Al	Ka	4,000	1,539	wt. %
P	Ka	1678,650	41,343	wt. %
Ca	Ka	9709,880	57,098	wt. %
Sr	Ka	15,140	0,020	wt. %
Общее			100,000	

Таблица 2. Элементный состав синтезированного гидроксиапатита по данным энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа

Table 2. Elemental composition of synthesized hydroxyapatite according to energy-dispersive X-ray fluorescence analysis

Соотношение кальция к фосфору в образце составило 1,38, что ниже стехиометрического значения 1,67, характерного для гидроксиапатита натуральной кости. Это указывает на то, что полученный гидроксиапатит не полностью соответствует минералу костной ткани.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы разработан и апробирован протокол синтеза гидроксиапатита методами соосаждения и гидротермального синтеза, обеспечивающий получение высокодисперсного порошка с контролируемой морфологией и высокой степенью кристалличности, подтвержденной СЭМ и РФА-анализом. На основе полученного гидроксиапатита создана высоконагруженная фотополимерная суспензия с массовой долей неорганической фазы 60%, стабильная при хранении и пригодная для DLP-3D-печати при стандартных режимах экспоненции.

Установлена важная роль молекулярной организации органической матрицы и дисперсантов: благодаря их оптимизации удалось одновременно достичь высокой вязкости и устойчивости к агрегации, несмотря на большую объемную концентрацию заполнителя. Такое свойство обеспечивает оптимизацию светового окна для печати даже при ~60 об. % ГА, несмотря на известные трудности просвечивания.

Реализация тонкого контроля фотохимических параметров (выбор инициатора, абсорбера, рекомбинация световых импульсов) позволяет избежать неполного отверждения, расслоения и дефектов межслойной адгезии.

Показано, что увеличение мощности УФ-излучения до 40 мВт/см² и подбор оптимального времени экспозиции (6–10 с) обеспечивают формирование равномерно полимеризованных слоев толщиной порядка 0,7–0,9 мм без признаков неполного отверждения, что свидетельствует о высокой фоточувствительности системы и ее пригодности для послойного формирования керамических изделий сложной геометрии. Морфологические и элементные характеристики синтезированного гидроксиапатита, отсутствие токсичных примесей и возможность тонкой настройки реологических и оптических свойств суспензии подтверждают перспективность предложенной композиции для создания персонализированных керамических имплантатов в стоматологии, челюстно-лицевой и ортопедической хирургии.

Выводы

1. Синтез гидроксиапатита методами соосаждения и гидротермального синтеза позволил получить хорошо кристаллизованный порошок с контролируемой морфологией, широким диапазоном размеров частиц (от нанометрового до десятков микрометров) и развитой пористой структурой, что подтверждено данными СЭМ. Такая морфология обеспечивает высокую удельную поверхность, хорошую смачиваемость и перспективна для использования в фотополимерных суспензиях и биоматериалах.

2. Энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный анализ показал, что образец характеризуется преобладанием кальция и фосфора при близком к стехиометрическому соотношении Ca/P и отсутствием значимых токсичных примесей, что подтверждает соответствие синтезированного гидроксиапатита требованиям к биомедицинским материалам.

3. Разработана рецептура высоконагруженной (60% масс.) фотополимерной суспензии на основе акрилатных и метакрилатных мономеров, фотоиницирующей системы и диспергированного гидроксиапатита, обеспечивающая технологичную вязкость, устойчивость к агрегации и отсутствие выраженного оседания частиц при хранении. Подобранный протокол дегазации и фасовки позволяет сохранять однородность суспензии и предотвращать дефекты, связанные с пузырьками воздуха.

4. Установлено, что при мощности УФ-излучения 40 мВт/см² оптимальное время экспозиции 6–10 с обеспечивает формирование равномерно отвержденных слоев толщиной около 0,7–0,9 мм при достижении плато по толщине полимеризации. Это указывает на эффективное использование фотоинициаторов, достаточную глубину проникновения излучения и пригодность суспензии для DLP-печати слоев с типичной технологической толщиной.

5. Показано, что разработанная фотополимерная композиция на основе гидроксиапатита совместима с режимами работы DLP-принтера и обеспечивает стабильное формирование образцов без выраженных дефектов сцепления по оси Z. Полученные данные создают основу для последующей оптимизации режимов термообработки, исследования микроструктуры спеченной керамики, ее механических характеристик и биосовместимости с целью внедрения технологии в клиническую практику (стоматология, челюстно-лицевая хирургия, травматология и ортопедия).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- 1 Bose S., Akdogan E.K., Balla V.K., Ciliveri S., Colombo P., Franchin G., et al. 3D printing of ceramics: Advantages, challenges, applications, and perspectives. *J Am Ceram Soc.* 2024;107:7879–920. DOI: 10.1111/jace.20043
- 2 Duque-Urbe C., López Vargas V., Moreno Florez A.I., Pelaez-Vargas A., Ossa A., Cárdenas-Ramírez C., et al. Obtaining biocompatible ceramic scaffolds of calcium phosphates through ceramic stereolithography. *J Mater Sci Mater Med.* 2025;36(1):52. DOI: 10.1007/s10856-025-06903-5
- 3 Fruhstorfer J., Aneziris Ch.G. Influence of particle size distributions on the density and density gradients in uniaxial compacts. *Ceramics Intern.* 2017;43(16):13175–84. DOI: 10.1016/j.ceramint.2017.07.011
- 4 Nguyen M.T.H., Kim J.H., Jang W.T., Jung Y.J., Park E.J., Ha T.H., et al. Role of GO and photoinitiator concentration on curing behavior of PEG-based polymer for DLP 3D printing. *ACS Omega.* 2024;9(3):3287–94. DOI: 10.1021/acsomega.3c05378
- 5 Nam J., Kim M. Advances in materials and technologies for digital light processing 3D printing. *Nano Converg.* 2024;11(1):45. DOI: 10.1186/s40580-024-00452-3
- 6 Bai Y., Wu N., Li X., Liu Z., Li K., Jiao T., et al. Recent progress of 3D printed responsive scaffolds for bone repair: A review. *Mater Today Bio.* 2025;35:102351. DOI: 10.1016/j.mtbio.2025.102351
- 7 Kennedy B.M., De Barra E., Hampshire S., Kelleher M.C. Investigation of oleic acid as a dispersant for hydroxyapatite powders for use in ceramic filled photo-curable resins for stereolithography. *J Eur Ceramic Soc.* 2023;43(15):7146–66. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2023.07.028

- 8 Khan A.R., Grewal N.S., Jun Z., Tawfiq F.M.O., Tchier F., Muhammad Zulqarnain R., et al. Raising the bar: progress in 3D-printed hybrid bone scaffolds for clinical applications: a review. *Cell Transplant.* 2024;33:9636897241273562. DOI: 10.1177/09636897241273562
- 9 Roohani I., Newsom E., Zreiqat H. High-resolution vat-photopolymerization of personalized bioceramic implants: new advances, regulatory hurdles, and key recommendations. *Int Mater Rev.* 2023;68(8):1075–97. DOI: 10.1080/09506608.2023.2194744
- 10 Long C., Liu Z., Liu C., Chen Z. Ceramic additive manufacturing via vat photopolymerization. *Mater Sci Addit Manuf.* 2025;4(3):025200031. DOI: 10.36922/MSAM025200031
- 11 Morrell R. A national measurement good practice guide No. 12: Biaxial flexural strength testing of ceramic materials. Teddington; 1998.
- 12 Niu Y., Jiang W., Yang L., Guan F., Yang Zh., Fan Z. Preparation of low-cost high strength soluble ceramic cores using heavy calcium carbonate by binder jetting and vacuum impregnation. *J Eur Ceram Soc.* 2023;43(16):7714–20. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2023.08.019
- 13 Mkhitarayan L., Baghdasaryan L., Khachatryan Zh., Aghayan M., Rodriguez M.A., Rstakyan V. Optimization of hydroxyapatite-PEGDA slurry for vat polymerization: Microstructure and mechanical properties of 3D printed bioscaffolds. *Bol Soc Esp Cerám Vidrio.* 2025;64(5):100459. DOI: 10.1016/j.bsecv.2025.100459
- 14 Lai H., Peng X., Li L., Zhu D., Xiao P. Novel monomers for photopolymer networks. *Progress Polymer Sci.* 2022;128:101529. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2022.101529
- 15 Liu M., Wang Y., Zhang H., Liu X., Wei Q., Li M., et al. Effects of dispersant concentration on the properties of hydroxyapatite slurry and scaffold fabricated by digital light processing. *J Manufact Processes.* 2024;109:460–70. DOI: 10.1016/j.jmapro.2023.12.040
- 16 Setter R., Schmöler S., Rudolph N., Moukhina E., Wudy K. Thermal stability and curing behavior of acrylate photopolymers for additive manufacturing. *Polym Eng Sci.* 2023;63(7):2180–92. DOI: 10.1002/pen.26355
- 17 Voet V.S.D., Strating T., Schnelting G.H.M., Dijkstra P., Tietema M., Xu J., et al. Biobased acrylate photocurable resin formulation for stereolithography 3D printing. *ACS Omega.* 2018;3(2):1403–8. DOI: 10.1021/acsomega.7b01648
- 18 Hayek El J., Belaid H., Cornette de Saint Cyr L., Chawich El G., Coy E., Iatsunskyi I., et al. 3D printed bioactive calcium silicate ceramics as antibacterial scaffolds for hard tissue engineering. *Mater Adv.* 2024;5:3228–46. DOI: 10.1039/D3MA01088K
- 19 Bennett J. Measuring UV curing parameters of commercial photopolymers used in additive manufacturing. *Addit Manuf.* 2017;18:203–12. DOI: 10.1016/j.addma.2017.10.009
- 20 Niedźwiedz M.J., Demirci G., Kantor-Malujdy N., El Fray M. Influence of photoinitiator type and curing conditions on the photocuring of soft polymer network. *Materials (Basel).* 2023;16(23):7348. DOI: 10.3390/ma16237348
- 21 Zhang F., Zhou S., You H., Zhang G., Yang J., Shi Y. 3D printing of ceramic matrix composites: Strengthening and toughening strategies. *Composites Part B: Engineering.* 2025;297(4):112335. DOI: 10.1016/j.compositesb.2025.112335
- 22 Sim J.-H., Koo B.-K., Jung M., Kim D.-S. Study on debinding and sintering processes for ceramics fabricated using digital light processing (DLP) 3D printing. *Processes.* 2022;10(11):2467. DOI: 10.3390/pr10112467
- 23 Jiang X., Liu J., Wang Y., Ding Z., Liu J., Ji L., et al. Prediction model for sintering shrinkage in micro-nano ceramic 3D printing of triply periodic minimal surface structures. *Materials Design.* 2025;260:115053. DOI: 10.1016/j.matdes.2025.115053
- 24 Li C., Chen G., Wang Y., Xu W., Hu M. Indirect co-culture of osteoblasts and endothelial cells in vitro based on a biomimetic 3D composite hydrogel scaffold to promote the proliferation and differentiation of osteoblasts. *PLOS ONE.* 2024;19(3):e0298689. DOI: 10.1371/journal.pone.0298689
- 25 Subramaniam D., Sekaran S. In vitro biocompatibility assessment of a novel membrane containing magnesium-chitosan/carboxymethyl cellulose and alginate intended for bone tissue regeneration. *Cureus.* 2024;16(2):e54597. DOI: 10.7759/cureus.54597
- 26 Wang S., Lin J., Jin H., Yang Y., Huang G., Wang J. Photopolymerization-based three-dimensional ceramic printing technology. *3D Print Addit Manuf.* 2024;11(1):406–14. DOI: 10.1089/3dp.2022.0132
- 27 Vijayan A., Vishnu J., A R., Shankar B., Sambhudevan S. A review on hydroxyapatite fabrication: from powders to additive manufactured scaffolds. *Biomater. Sci.* 2025;13(4): 913–45. DOI: 10.1039/D4BM00972J
- 28 Mondal S., Park S., Choi J., Vu T.T.H., Doan V.H.M., Vo T.T., et al. Hydroxyapatite: a journey from biomaterials to advanced functional materials. *Adv Colloid Interface Sci.* 2023;321:103013. DOI: 10.1016/j.cis.2023.103013
- 29 Huang Y.T., Imura M., Nemoto Y., Cheng C.H., Yamauchi Y. Block-copolymer-assisted synthesis of hydroxyapatite nanoparticles with high surface area and uniform size. *Sci Technol Adv Mater.* 2011;12(4):045005. DOI: 10.1088/1468-6996/12/4/045005
- 30 Koutsopoulos S. Synthesis and characterization of hydroxyapatite crystals: A review study on the analytical methods. *J Biomed Mater Res.* 2002;62(4):600–12. DOI: 10.1002/jbm.10280
- 31 Ma M.G., Zhu Y.J., Chang J. Monetite formed in mixed solvents of water and ethylene glycol and its transformation to hydroxyapatite. *J Phys Chem B.* 2006;110(29):14226–30. DOI: 10.1021/jp061738r
- 32 Wang Y.J., Lai C., Wei K., Chen X., Ding Y., Wang Z.L. Investigations on the formation mechanism of hydroxyapatite synthesized by the solvothermal method. *Nanotechnology.* 2006;17:4405–13. DOI: 10.1088/0957-4484/17/17/020
- 33 Kim, MS; Kim, YJ. Synthesis of calcium-deficient hydroxyapatite in the presence of amphiphilic triblock copolymer. *Mater. Lett.* 2012;66(1):33–5. DOI: 10.1016/j.matlet.2011.08.050
- 34 Wang P., Li C., Gong H., Jiang X., Wang H., Li K. Effects of synthesis conditions on the morphology of hydroxyapatite nanoparticles produced by wet chemical process. *Powder Technol.* 2010;203:315–21. DOI: 10.1016/j.powtec.2010.05.023
- 35 Müller F.A., Gbureck U., Kasuga T., Mizutani Y., Barralet J.E., Lohbauer U. Whisker-reinforced calcium phosphate cements. *J Am Ceram Soc.* 2007;90(11):3694–7. DOI: 10.1111/j.1551-2916.2007.01967.x
- 36 Jokić B., Mitrić M., Radmilović V., Drmanić S., Petrović R., Janacković D. Synthesis and characterization of monetite and hydroxyapatite whiskers obtained by a hydrothermal method. *Ceram. Int.* 2011;37(1):167–73. DOI: 10.1016/j.ceramint.2010.08.032
- 37 Zhang H., Darvell B.W. Synthesis and characterization of hydroxyapatite whiskers by hydrothermal homogeneous precipitation using acetamide. *Acta Biomater.* 2010;6(8):3216–22. DOI: 10.1016/j.actbio.2010.02.011
- 38 Gopi D., Bhalaji P.R., Prakash V.C.A., Ramasamy A.K., Kavitha L., Ferreira J.M.F. An effective and facile synthesis of hydroxyapatite powders using oxalic acid-ethylene glycol mixture. *Curr Appl Phys.* 2011;11(3):590–3. DOI: 10.1016/j.cap.2010.10.003
- 39 Gshalaev V.S., Demirhan A.C. (editors) *Hydroxyapatite: synthesis, properties, and applications.* Nova Science Publishers; 2012.
- 40 Li C., Zhao L., Han J., Wang R., Xiong C., Xie X. Synthesis of citrate-stabilized hydrocolloids of hydroxyapatite through a novel two-stage method: a possible aggregates-breakdown mechanism of colloid formation. *J Colloid Interface Sci.* 2011;360(2):341–9. DOI: 10.1016/j.jcis.2011.04.059
- 41 Orlovskii V.P., Komlev V.S., Barinov, S.M. Hydroxyapatite and hydroxyapatite-based ceramics. *Inorganic Materials.* 2002;38:973–84. DOI: 10.1023/A:1020585800572

- © Биялов А.Р., Карчевский С.Г., Тихонов А.А., Галаудинов М.Ф., Акбашев В.Н., Данилко К.В., Пятницкая С.В., Ахатов И.Ш., Джуринский Д.В., Абдрахимов Р.В., Буренина И.В., Ишемгулов Р.Р., 2025
- © Bilyalov A.R., Karchevsky S.G., Tikhonov A.A., Galautdinov M.F., Akbashaev V.N., Danilko K.V., Piatnitskaia S.V., Akhatov I.Sh., Dzhurinskiy D.V., Abdrakhimov R.V., Burenina I.V., Ishemgulov R.R., 2025

<https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-376-383>

Цифровая холангиоскопия при внутрипеченочном холелитиазе после трансплантации печени: клинический случай

Нартайлаков Мажит Ахметович — д.м.н., профессор, кафедра общей хирургии, трансплантологии и лучевой диагностики, orcid.org/0000-0001-8673-0554

Нагаев Фарит Робертович — хирургическое отделение, кафедра общей хирургии, трансплантологии и лучевой диагностики, orcid.org/0000-0002-8338-2766

Бакеев Марат Радикович — ординатор, кафедра хирургических болезней лечебного факультета, хирургическое отделение, orcid.org/0000-0002-4160-2820

Минигалин Даниил Масхутвич — к.м.н., кафедра хирургических болезней лечебного факультета, хирургическое отделение, orcid.org/0000-0002-4292-1831

Сафаргалина Айгуль Гирфановна — кафедра хирургических болезней лечебного факультета, хирургическое отделение, orcid.org/0000-0002-0148-4559

М.А. Нартайлаков¹, Ф.Р. Нагаев^{1,2}, М.Р. Бакеев^{1,2*}, Д.М. Минигалин^{1,2}, А.Г. Сафаргалина^{1,2}

¹ Башкирский государственный медицинский университет, Россия, Республика Башкортостан, Уфа

² Клиника Башкирского государственного медицинского университета, Россия, Республика Башкортостан, Уфа

* **Контакты:** Бакеев Марат Радикович, e-mail: m.r.bakeev@bk.ru

Аннотация

Введение. Трансплантация печени является окончательным методом лечения для пациентов с поражениями печени терминальных стадий. У реципиентов трансплантированной печени способны возникать стриктуры билиодигестивного анастомоза, холелитиаз различной локализации. У ряда пациентов со сложными формами холелитиаза и билиарных стриктур применение рутинной эндоскопической процедуры может оказаться неэффективным. В подобных ситуациях перспективен метод прямой цифровой холангиоскопии SpyGlass DS™. **Материалы и методы.** Клинический случай: у пациента 66 лет в позднем послеоперационном периоде после ортотопической родственной трансплантации печени диагностированы стриктура реконструктивного гепатикоюноанастомоза на петле по Ру и внутрипеченочный холелитиаз. Произведено гибридное вмешательство — баллонная дилатация стриктуры и внутрипеченочная литотрипсия, литоэкстракция с использованием холангиоскопии SpyGlass DS™, а также чрескожное чреспеченочное дренирование желчевыводящих путей под контролем рентгенографической системы. **Результаты и обсуждение.** Выполнение прямой холангиоскопии позволило безопасно устранить гепатолитиаз и стриктуру гепатикоюноанастомоза у пациента после трансплантации печени. Выполнение наружного дренирования с возможностью отсроченной холангиографии позволило контролировать функцию желчевыделения и поэтапно производить замену дренажей. **Заключение.** Прямая цифровая холангиоскопия выступает важным инструментом диагностики и лечения билиарных осложнений у реципиентов трансплантированной печени.

Ключевые слова: трансплантация печени, прямая холангиоскопия, внутрипеченочный холелитиаз, билиарные стриктуры, механическая желтуха, дренирование желчевыводящих путей

Информированное согласие. Информированное согласие пациента на публикацию своих данных получено.

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Данная работа не финансировалась.

Вклад авторов. Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Для цитирования: Нартайлаков М.А., Нагаев Ф.Р., Бакеев М.Р., Минигалин Д.М., Сафаргалина А.Г. Цифровая холангиоскопия при внутрипеченочном холелитиазе после трансплантации печени: клинический случай. Креативная хирургия и онкология. 2025;15(4):376–383. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-376-383>

Поступила в редакцию: 07.09.2025

Поступила после рецензирования и доработки: 20.10.2025

Принята к публикации: 28.10.2025

Digital Cholangioscopy in Intrahepatic Cholelithiasis after Liver Transplantation: Clinical case

Mazhit A. Nartailakov¹, Farit R. Nagaev^{1,2}, Marat R. Bakeev^{1,2,*}, Daniil M. Minigalin^{1,2}, Aygul G. Safargalina^{1,2}

¹ Bashkir State Medical University, Ufa, Russian Federation

² Clinic of Bashkir State Medical University, Ufa, Russian Federation

*Correspondence to: Marat R. Bakeev, e-mail: m.r.bakeev@bk.ru

Abstract

Introduction. Liver transplantation represents the definitive treatment for patients with end-stage liver disease. In liver transplant recipients, strictures of the biliary-digestive anastomosis and cholelithiasis of various localizations may occur. However, routine endoscopic procedures may be ineffective in some patients with complex forms of cholelithiasis and biliary strictures. In such situations, the SpyGlass DS™ direct digital cholangioscopy method is promising. **Materials and methods.** Clinical case: a 66-year-old patient in the late postoperative period after orthotopic related liver transplantation was diagnosed with a stricture of the reconstructive hepaticojejunostomy on the Roux-en-Y loop and intrahepatic cholelithiasis. The performed hybrid intervention includes: balloon dilation of the stricture and intrahepatic lithotripsy, lithoextraction using SpyGlass DS™ cholangioscopy, as well as percutaneous transhepatic drainage of the biliary tract under radiographic control. **Results and discussion.** Direct cholangioscopy ensured the safe elimination of hepatolithiasis and hepaticojejunostomy stricture in a patient after liver transplantation. External drainage with the possibility of delayed cholangiography was used to monitor the function of bile secretion with gradual replacement of drains. **Conclusion.** Direct digital cholangioscopy represents an important tool for the diagnosis and treatment of biliary complications in liver transplant recipients.

Keywords: liver transplantation, direct cholangioscopy, intrahepatic cholelithiasis, biliary stricture, mechanical jaundice, biliary drain

Statement of informed consent. Written informed consent was obtained from the patient for publication of this case report and accompanying materials.

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

Sponsorship data. This work is not funded.

Author contributions. The authors contributed equally to this article.

For citation: Nartailakov M.A., Nagaev F.R., Bakeev M.R., Minigalin D.M., Safargalina A.G. Digital cholangioscopy in intrahepatic cholelithiasis after liver transplantation: Clinical case. *Creative Surgery and Oncology*. 2025;15(4):376–383. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-376-383>

Received: 07.09.2025

Revised: 20.10.2025

Accepted: 28.10.2025

Mazhit A. Nartailakov — Dr. Sci. (Med.), Prof., Department of General Surgery, Transplantology and X-ray Diagnostics, orcid.org/0000-0001-8673-0554

Farit R. Nagaev — Surgery Unit, Department of General Surgery, Transplantology and X-ray Diagnostics, orcid.org/0000-0002-8338-2766

Marat R. Bakeev — Resident, Department of Surgical Diseases, Faculty of Medicine, Surgery Unit, orcid.org/0000-0002-4160-2820

Daniil M. Minigalin — Cand. Sci. (Med.), Department of Surgical Diseases, Faculty of Medicine, Surgery Unit, orcid.org/0000-0002-4292-1831

Aygul G. Safargalina — Department of Surgical Diseases, Faculty of Medicine, Surgery Unit, orcid.org/0000-0002-0148-4559

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время трансплантация печени (ТП) выступает «золотым стандартом» лечения пациентов с циррозом и терминальными стадиями поражения данного органа [1]. Осложнения, связанные с желчевыводящими путями, до сих пор остаются одними из самых распространенных после ТП [2, 3]. Согласно данным ряда авторов билиарные осложнения возникают у 10–25 % взрослых реципиентов [4–6]. Наиболее частыми патологиями желчевыводящих путей после ТП являются различные варианты билиарных свищей, стриктур, а также холелитиаза [7]. Проявления внутри- и внепеченочного холелитиаза существенно осложняют функционирование трансплантата, что негативно сказывается на соматическом статусе реципиентов.

Традиционным лечебно-диагностическим вмешательством при холелитиазе выступает эндоскопическая ретроградная холангиопанкреатография (ЭРХПГ). Данный способ позволяет проводить визуализацию «желчного дерева», а также выполнять процедуры баллонной дилатации, литотрипсии и литоэкстракции [8]. По данным ряда авторов, технический успех при использовании ЭРХПГ достигается в 80–100 % случаев [9, 10], однако долгосрочная клиническая эффективность наблюдается лишь в 36,9–100 % случаев [11–13]. Существенным ограничением такой процедуры выступает косвенная оценка патологий желчевыводящих путей при рентгеноскопии и невозможность проведения безопасной внутрипеченочной литотрипсии и экстракции [14].

В 2007 году была представлена система прямой однопользовательской холангиоскопии SpyGlass™ (Boston Scientific Corp., Natick, MA, США), позволившая проводить непосредственный осмотр желчевыводящих путей, осуществлять забор тканей и выполнять литотрипсию под визуальным контролем [15, 16]. Следующее поколение данной системы SpyGlass DS™ было представлено в 2015 году и отличалось улучшенным качеством изображения, модернизированным управлением, эргономикой и маневренностью наконечника. Полученные технические усовершенствования позволили применять данное устройство для лечения трудных форм холелитиаза [17].

Широкое применение прямой цифровой однопользовательской холангиоскопии при заболеваниях гепатопанкреатобилиарной области расширило показания для использования данной процедуры у пациентов после ТП [18]. Доказанные профили эффективности и безопасности SpyGlass позволили проводить диагностические вмешательства у реципиентов ТП, в том числе и при билиарных осложнениях [19]. Технология прямой цифровой однопользовательской холангиоскопии предстала вариантом «спасения» для эндоскопического лечения холелитиаза после ТП. В мировой литературе описаны случаи успешного применения SpyGlass-холангиоскопии в лечении желчных осложнений у реципиентов ТП [20, 21]. В то же время лишь в нескольких сериях наблюдений использовалась система SpyGlass DS™ при холелитиазе [7, 22–24]. Накопленный опыт по применению прямой цифровой хо-

лангиоскопии укрепляет позиции данного метода при лечении гепатолитиаза и билиарных стриктур после ТП, выступая возможной альтернативой реконструктивным и ревизионным оперативным вмешательствам. В нашей стране данная технология пока не получила широкого применения, однако происходит активное изучение и анализ первых успешных результатов ее использования.

Цель исследования: продемонстрировать клинический случай лечения пациента после ортотопической ТП с внутрипеченочным холелитиазом и стриктурой гепатикоеюноанастомоза, возникшими в позднем послеоперационном периоде, с использованием прямой цифровой однопользовательской холангиоскопии SpyGlass DS™.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пациент М., 66 лет, поступил в хирургическое отделение Клиники ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» в апреле 2025 года с жалобами на желтушность кожи, склер, боли в правом подреберье и дискомфорт в животе. Было получено информированное добровольное письменное согласие на использование данных в научно-образовательных целях, в том числе публикацию результатов лечения. Представленные данные истории болезни не несут рисков для пациента, в связи с чем принято решение об отсутствии необходимости получения решения ЛЭК. Из анамнеза известно, что в феврале 2019 года была выполнена гепатэктомия и ортотопическая трансплантация правой доли печени от родственного донора по поводу цирроза печени в исходе вирусного гепатита С. Ранний послеоперационный период осложнился билломой, по поводу которой была произведена пункция и дренирование под УЗИ-контролем.

В последующем в июне 2019 года пациент находился на стационарном лечении в ФГБУ ГНЦ «ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России» по поводу дисфункции трансплантата, где была выполнена трепанбиопсия и коррекция лечения. В январе 2020 года в связи с возникновением механической желтухи на фоне билиарной стриктуры было произведено чрескожное чреспеченочное наружное дренирование желчевыводящих путей с последующей коррекцией дренажа в феврале 2022 года. В июле 2022 года в республиканском центре пациенту был выставлен диагноз рубцовой стриктуры гепатикохоледоха с билиодигестивным свищом, по поводу которого выполнено оперативное вмешательство — лапаротомия, реконструктивная гепатикоеюностомия на выключенной по Ру петле тощей кишки, разобщение билиодигестивного свища, дренирование брюшной полости. После стабилизации состояния и нормализации процесса желчеотведения наружный чрескожный чреспеченочный дренаж был удален. По истечении 1 года у пациента развился хронический криз отторжения трансплантата, в связи с чем было проведено консервативное лечение с положительной динамикой. В марте 2025 года вновь возник эпизод желтухи и ухудшения состояния, в республиканском центре попытка проведения наружного чрескожного

чреспеченочного дренажа оказалась безуспешной. Пациент был направлен в хирургическое отделение Клиники БГМУ для решения вопроса об определении тактики лечения.

При поступлении по данным магнитно-резонансной холангиопанкреатографии от марта 2025 года определяется состояние после ортотопической ТП. Имеются признаки стриктуры гепатикоеюноанастомоза, перидуктального отека, холангита внутрипеченочных сегментарных желчных протоков. По данным ультразвукового исследования от марта 2025 года трансплантат печени визуализируется фрагментарно, размеры правой доли 170×110 мм, контуры четкие, ровные, эхогенность паренхимы средняя, структура однородная. Сосудистый рисунок без особенностей. Правый доле-вой желчный проток с резко утолщенными стенками до 2 мм, истинный просвет 2 мм. В правой плевральной полости выпот в виде однородной толстой полосы толщиной 30 мм.

Результаты чрескожной чреспеченочной холангиографии от марта 2025 года: правые сегментарные протоки не расширены, правый доле-вой проток расширен, в его полости определяются множественные дефекты наполнения (конкременты?), контрастное вещество частично поступает в кишку. Уровень прямого билирубина — 337,3 мкмоль/л, общего билирубина — 522,3 мкмоль/л, АЛТ — 161,9 Ед/л, АСТ — 192,7 Ед/л, мочевины — 9,94 ммоль/л, общий белок — 52,2 г/л.

На основании полученных данных пациенту был выставлен диагноз: стриктура гепатикоеюноанастомоза, внутрипеченочный холелитиаз, желтуха смешанного генеза, хронический рецидивирующий холангит, печеночная недостаточность 2 степени. В связи с тяжестью состояния, а также наличием ранее перенесенных оперативных вмешательств консилиумом в составе врача-хирурга-трансплантолога, врача-эндоскописта и врача — рентген-эндоваскулярного хирурга было принято

решение о предоперационной инфузионно-детоксикационной подготовке пациента и проведении чрескожной чреспеченочной холангиографии с применением прямой цифровой холангиоскопии SpyGlass DS™. После стабилизации состояния, дренирования правой плевральной полости и коррекции нарушений гомеостаза было проведено гибридное интервенционное вмешательство мультидисциплинарной бригадой.

Первоначально пунктирован сегментарный желчный проток в области конfluence, заведен проводник и установлен интродьюсер размером 11 French (Fr). Проводник установлен за гепатикоеюноанастомоз в тощую кишку. При холангиографии визуализируются протоки правой доли печени, полностью обтурированные конкрементами на всем протяжении, слабо контрастируется гепатикоеюноанастомоз, который предельно стенозирован. Прослеживается слабое поступление контрастного препарата в тощую кишку. На основании полученных интраоперационных данных был составлен план этапного оперативного лечения: 1) баллонная пластика гепатикоеюноанастомоза; 2) литотрипсия конкрементов сегментарных протоков с использованием прямой однопользовательской цифровой холангиоскопии SpyGlass DS™; 3) рентген-хирургическое чрескожное чреспеченочное наружное дренирование протоков правой доли печени. Баллонная дилатация гепатикоеюноанастомоза была выполнена с использованием катетера 12,0×80,0 мм с раздутием до 12 атмосфер и экспозицией 5 минут. Затем через установленный интродьюсер проведен цифровой холангиоскоп SpyGlass DS™. Под визуальным контролем была проведена последовательная электрогидравлическая литотрипсия с одномоментным отмыванием/низведением конкрементов через гепатикоеюноанастомоз в просвет тощей кишки (рис. 1, 2).

При контрольном «тугом контрастировании» просвет внутрипеченочных желчных протоков свободен

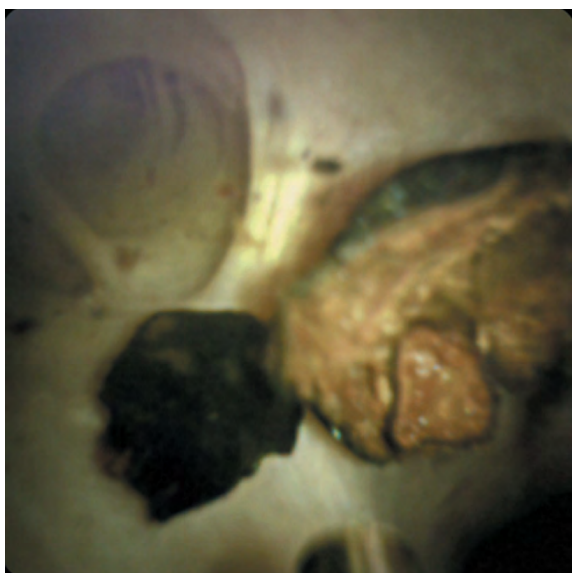


Рисунок 1. Литотрипсия под контролем цифровой холангиоскопии SpyGlass DS™
Figure 1. SpyGlass DS™ digital cholangioscopy-guided lithotripsy

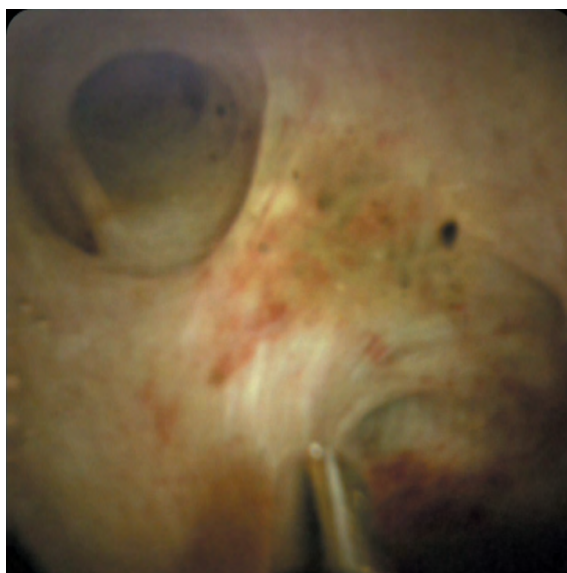


Рисунок 2. Внутрипеченочные желчные пути после процедуры визуально контролируемой литотрипсии
Figure 2. Intrahepatic bile ducts after visually guided lithotripsy

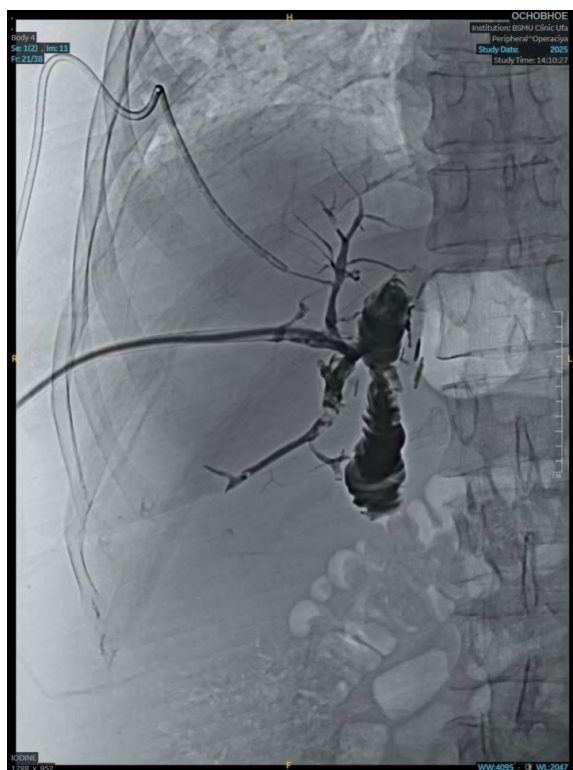


Рисунок 3. Холангиография после установки наружного желчного дренажа

Figure 3. Cholangiography after inserting the external biliary drain

в пределах визуализации. Следующим этапом через интродьюсер был установлен наружный желчный дренаж 8,5 Fr (рис. 3).

Длительность оперативного вмешательства составила 145 минут. В послеоперационном периоде проводилась контрольная холангиография на 13-е сутки после оперативного вмешательства. По данным рентгенологической картины гепатикоеюноанастомоз функционирует, правые сегментарные и долевые протоки визуализируются на всем протяжении. Принято решение о замене наружного дренажа на наружно-внутренний (рис. 4).

На 22-е сутки после оперативного лечения проведена контрольная холангиография. Выявлено повторное сужение гепатикоеюноанастомоза. Удален наружно-внутренний желчный дренаж и установлен интродьюсер 9Fr в паренхиму печени. Проведена баллонная дилатация зоны анастомоза с раздутием катетера до 4 атмосфер. Интродьюсер оставлен для наружного дренирования.

В послеоперационном периоде на фоне проводимой медикаментозной терапии совместно с восстановлением желчеоттока отмечено двукратное снижение маркеров цитолиза и холестаза по данным биохимического анализа крови. На фоне дренирования плевральной полости отмечено снижение реактивного выпота, и дренаж был удален. На фоне проводимой антибактериальной терапии явления острого постманипуляционного хо-

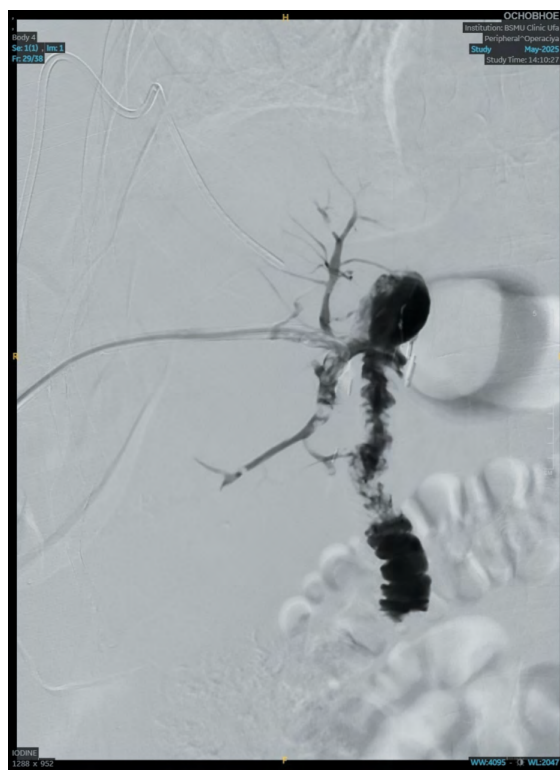


Рисунок 4. Холангиограмма на 13-е сутки после операции. Определяется поступление контрастного раствора в просвет кишки. «Желчное дерево» визуализируется достаточно

Figure 4. Cholangiogram on the 13th day after surgery. The flow of contrast solution into the intestinal lumen is observed. The biliary tree is well visualized

лангита были своевременно купированы и не привели к отягощению состояния. Пациент был выписан в удовлетворительном состоянии на 36-е сутки под дальнейшее амбулаторное наблюдение с периодичностью контрольных осмотров в стационаре 1 раз в месяц.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Представленный случай демонстрирует успешное применение цифровой однопользовательской холангиоскопии SpyGlass DS™ для лечения внутрипеченочного холелитиаза. Особенностью представленного наблюдения является наличие сопутствующей стриктуры гепатикоеюноанастомоза, выполненного по поводу билиарной стриктуры после ортотопической ТП. Проведенное гибридное вмешательство позволило одновременно устранить проявления желчной гипертензии по причине как холелитиаза, так и анастомотической стриктуры. Достиженные положительные клинические результаты свидетельствуют о выборе правильной тактики лечения, на что указывает восстановление функции трансплантата и улучшение состояния пациента. Определенные трудности в послеоперационном периоде могут вызывать проявления холангита и печеночной недостаточности, что требует адекватной антибактериальной и гепатопротекторной терапии. Залогом успешного лечения у данной группы пациентов можно считать восстановление билиарной проходимости

и регулярный контроль за функцией желчеотведения, что обеспечивается этапной заменой наружного дренажа на наружно-внутренний и переходом на полностью внутреннее отведение. Только комплексный и мультидисциплинарный подход может обеспечить выбор необходимой тактики ведения пациентов с билиарными осложнениями после ТП.

Внутрипеченочный холелитиаз представляет собой сложную задачу и требует своевременного адекватного лечения. Ряд исследователей подчеркивают значимость применения холангиоскопии у реципиентов ТП с билиарными осложнениями [25, 26]. Альтернативой литотрипсии под контролем холангиоскопии может выступать литоэкстракция из ретроградного доступа с использованием катетеров Фогарти или Беренштейна. Однако подобным образом можно удалить только подвижные конкременты в долевых протоках [23]. В случае наличия вколоченных в сегментарные протоки конкрементов данный способ литоэкстракции неосуществим. В то же время определенные трудности вызывает использование ЭРХПГ у пациентов после реконструкции билиодигестивного анастомоза, что требует выполнения диагностической холангиографии только чрескожным чреспеченочным способом [22]. При этом выполнение литоэкстракции и литотрипсии у таких пациентов в отсутствие возможности ретроградного проведения дуоденоскопа не представляется возможным. Все вышеперечисленные недостатки ЭРХПГ существенно ограничивают применение данного метода у пациентов с внутрипеченочным холелитиазом и стриктурой билиодигестивного анастомоза. Вместе с тем ряд авторов подчеркивают диагностическую ценность использования прямой холангиоскопии для визуализации «скрытых» конкрементов и густой «замазки», которые не диагностируются при ЭРХПГ, но могут вносить существенный вклад в клинику внутрипеченочного холелитиаза [8]. По этой причине наличие гепатолитиаза у реципиентов ТП, по мнению ряда исследователей, является непосредственным показанием к проведению прямой холангиоскопии в дополнение к ЭРХПГ. Комбинация данных методов повышает точность диагностики и эффективность литотрипсии [7]. На наш взгляд, сочетание внутрипеченочного холелитиаза со стриктурой билиодигестивного или билиобилиарного анастомоза является прямым показанием для проведения лечебно-диагностической прямой цифровой холангиоскопии.

Применение прямой холангиоскопии SpyGlass DS™ позволило устранить гепатолитиаз и стриктуру гепатоеюноанастомоза без проведения обширных ревизионных процедур. Безусловным достоинством данной системы является непосредственная визуализация конкрементов и проведение прецизионной литотрипсии с минимальным риском осложнений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Билиарные осложнения являются одними из самых распространенных нарушений в послеоперационном периоде после ТП. При этом лидирующие позиции занимают желчные стриктуры и различные формы холе-

литиаза. «Золотым стандартом» диагностики и лечения данных патологий выступает ЭРХПГ с баллонной дилатацией, стентированием или литоэкстракцией. Однако комбинация желчных стриктур и холелитиаза представляет серьезную проблему для клиницистов по причине резкого ограничения применения традиционной эндоскопии. Важной опцией выступает использование прямой цифровой однопользовательской холангиоскопии SpyGlass DS™. Данная система позволяет визуализировать желчные протоки как ретроградно, так и антеградно, что является ключевым положением при определении доступа у пациентов после ТП с повторными реконструктивно-восстановительными вмешательствами. Высокая диагностическая чувствительность и специфичность для обнаружения желчных конкрементов позволяет проводить процедуру внутрипротоковой прицельной литотрипсии наиболее эффективно и безопасно. Комплексный мультидисциплинарный подход к ведению пациентов с билиарными осложнениями после ТП позволяет выбрать индивидуализированную тактику лечения, что обеспечивает положительный клинический результат и улучшает качество жизни реципиентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Yoon S.B., Kim J., Paik C.N., Jang D.K., Lee J.K., Yoon W.J., et al. Endoscopic and Percutaneous Biliary Interventions after Liver Transplantation: Nationwide Data in Korea. *Gut Liver*. 2022;16(2):300–7. DOI: 10.5009/gnl20379
- 2 Duffy J.P., Kao K., Ko C.Y., Farmer D.G., McDiarmid S.V., Hong J.C., et al. Long-term patient outcome and quality of life after liver transplantation: analysis of 20-year survivors. *Ann Surg*. 2010;252:652–61. DOI: 10.1097/SLA.0b013e3181f5f23a
- 3 Jang S.L., Cho J.H., Lee D.K. Magnetic compression anastomosis for the treatment of post-transplant biliary stricture. *Clin Endosc*. 2020;53(3):266–75. DOI: 10.5946/ce.2020.095
- 4 Zhang C.C., Koschny R., Rupp C., Michl P., Mehrabi A., Wehling C., et al. Post-endoscopic retrograde cholangiopancreatography cholangitis after endoscopic treatment of post-transplant biliary strictures: a retrospective study. *BMC Surg*. 2025;25(1):353. DOI: 10.1186/s12893-025-03106-1
- 5 Ma M.X., Jayasekaran V., Chong A.K. Benign biliary strictures: prevalence, impact, and management strategies. *Clin Exp Gastroenterol*. 2019;12:83–92. DOI: 10.2147/CEG.S165016
- 6 Fodor M., Woerdehoff A., Peter W., Esser H., Oberhuber R., Margreiter C., et al. Reassessment of relevance and predictive value of parameters indicating early graft dysfunction in liver transplantation: AST is a weak, but bilirubin and INR strong predictors of mortality. *Front Surg*. 2021;8:693288. DOI: 10.3389/fsurg.2021.693288
- 7 Tripathi N., Mardini H., Koirala N., Raissi D., Emhmed Ali S.M., Frandah W.M. Assessing the utility, findings, and outcomes of percutaneous transhepatic cholangioscopy with Spyglass™ Direct visualization system: a case series. *Transl Gastroenterol Hepatol*. 2020;5:12. DOI: 10.21037/tgh.2019.11.11
- 8 Mishra S., Taneja S. Algorithmic approach to deranged liver functions after transplantation. *J Clin Exp Hepatol*. 2024;14(3):101317. DOI: 10.1016/j.jceh.2023.101317
- 9 Sung M.J., Jo J.H., Lee H.S., Park J.Y., Bang S., Park S.W., et al. Optimal drainage of anastomosis stricture after living donor liver transplantation. *Surg Endosc*. 2021;35(11):6307–17. DOI: 10.1007/s00464-021-08456-4
- 10 Rocha Fernandes Y., Visconti T.A.C., Dall'Agnol M.K., Ardengh A.O., Veras M.O., Valentim E.S.D.S., et al. Covered self-expanding metal stents versus multiple plastic stents in treating biliary strictures post-orthotopic liver transplantation: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *DEN Open*. 2025;6(1):e70143. DOI: 10.1002/deo.270143
- 11 Çağın Y.F., Erdoğan M.A., Sağlam O., Yıldırım O., Bilgiç Y., Arslan A.K., et al. Optimal endoscopic management of anastomotic strictures after double-biliary reconstruction in right lobe living-donor liver

- transplantation. *Balkan Med J.* 2021;38(6):348–356. DOI: 10.5152/balkanmedj.2021.21692
- 12 Ataman E., Harputluoglu M., Bilgic Y., Cagin Y.F., Erdogan M.A., Kutlu R., et al. The course of endoscopic treatment success in biliary complications after living donor liver transplantation. *Medeni Med J.* 2024;39(1):33–8. DOI: 10.4274/MMJ.galenos.2024.89289
 - 13 Jegadeesan M., Goyal N., Rastogi H., Gupta S. Percutaneous transhepatic biliary drainage for biliary stricture after endotherapy failure in living donor liver transplantation: a single-centre experience from India. *J Clin Exp Hepatol.* 2019;9(6):684–9. DOI: 10.1016/j.jceh.2019.03.004
 - 14 Нартайлаков М.А., Соколов С.В., Соколов В.П., Грицаенко А.И., Мухамедьянов И.Ф., Рисберг Р.Ю. Анализ осложнений антеградных рентгеноэндобилиарных вмешательств у больных механической желтухой. *Медицинский вестник Башкортостана.* 2017;12(4):9–13.
 - 15 Büringer K., Schempf U., Fusco S., Wichmann D., Stüker D., Götz M., et al. Feasibility, safety and efficacy of endoscopic single-operator cholangioscopy: a retrospective single-center study. *Therap Adv Gastroenterol.* 2024;17:17562848241288111. DOI: 10.1177/17562848241288111
 - 16 Tu Q.Y., Li D.L., Liu D., Zheng Q.F., Liu B.R. Choledocholithotripsy using peroral direct cholangioscopy through a standard gastroscope for a giant common bile duct stone: a case report. *Gastroenterol Rep (Oxf).* 2024;30(4):goae014. DOI: 10.1093/gastro/goae014
 - 17 Chon H.K., Choi K.H., Seo S.H., Kim T.H. Efficacy and safety of percutaneous transhepatic cholangioscopy with the spyglass DS direct visualization system in patients with surgically altered anatomy: a pilot study. *Gut Liver.* 2022;16(1):111–7. DOI: 10.5009/gnl210028
 - 18 Singh P., Singla V., Goel A., Shawl M.R., Bashir S. Percutaneous cholangioscopy-assisted rendezvous endoscopic retrograde cholangiography technique for a difficult postliver transplant anastomotic stricture. *VideoGIE.* 2025;10(8):402–5. DOI: 10.1016/j.vgie.2025.03.025
 - 19 Zhang W., Sun H., Dong D., Li Y. Safety and feasibility of a novel recanalization technique using guidewire puncture under cholangioscopy for complete biliary stricture after liver transplantation. *Sci Rep.* 2023;13(1):4874. DOI: 10.1038/s41598-023-31475-1
 - 20 Balderramo D., Sendino O., Miquel R., de Miguel C.R., Bordas J.M., Martínez-Pallí G., et al. Prospective evaluation of single-operator peroral cholangioscopy in liver transplant recipients requiring an evaluation of the biliary tract. *Liver Transpl.* 2013;19:199–206. DOI: 10.1002/lt.23585
 - 21 Jang S.I., Fang S., Nahm J.H., Cho J.H., Do M.Y., Lee S.Y., et al. Pre-clinical evaluation of endoscopic placement of a steroid-eluting metal stent in an in vivo porcine benign biliary stricture model. *Sci Rep.* 2022;12(1):8864. DOI: 10.1038/s41598-022-12957-0
 - 22 Yasen A., Feng J., Liang R.B., Zhu C.H., Li J., Liu A.Z., et al. Efficiency of percutaneous transhepatic cholangioscopy in the treatment of biliary complications after liver transplantation. *HPB (Oxford).* 2023;25(4):463–71. DOI: 10.1016/j.hpb.2023.01.010
 - 23 Stadmeier P., Dalvie P., Hubers J., Gopal D. Percutaneous transhepatic single-operator cholangioscopy-guided intraductal stone therapy in a liver transplant patient with ischemic cholangiopathy. *ACG Case Rep J.* 2021;8(6):e00595. DOI: 10.14309/crj.0000000000000595
 - 24 Clarete A., Nasner D., Toro-Gutiérrez J.S., Holguín-Holguín A. Successful application of percutaneous endoscopic cholangioscopy + electrohydraulic lithotripsy for hepatolithiasis post-liver transplantation: a case report. *J Med Case Rep.* 2024;18(1):472. DOI: 10.1186/s13256-024-04669-y
 - 25 Funari M.P., Hirsch B.S., Franzini T.P., de Moura D.T.H., Miranda Neto A.A., McCarty T.R., et al. Role of cholangioscopy and therapeutic options in complex anastomotic strictures after liver transplantation. *Endoscopy.* 2022;54(10):E581–2. DOI: 10.1055/a-1704-7503
 - 26 Guillén Graf A.M., Reyna Aréchiga A.I., Escareño Pérez C.E., Bosques-Padilla F., Jáquez Quintana J.O. Digital single-operator cholangioscopy in the evaluation of biliary strictures after liver transplantation. *Rev Esp Enferm Dig.* 2024 Sep 13. DOI: 10.17235/reed.2024.10708/2024
 - 3 Jang S.I., Cho J.H., Lee D.K. Magnetic compression anastomosis for the treatment of post-transplant biliary stricture. *Clin Endosc.* 2020;53(3):266–75. DOI: 10.5946/ce.2020.095
 - 4 Zhang C.C., Koschny R., Rupp C., Michl P., Mehrabi A., Wehling C., et al. Post-endoscopic retrograde cholangiopancreatography cholangitis after endoscopic treatment of post-transplant biliary strictures: a retrospective study. *BMC Surg.* 2025;25(1):353. DOI: 10.1186/s12893-025-03106-1
 - 5 Ma M.X., Jayasekera V., Chong A.K. Benign biliary strictures: prevalence, impact, and management strategies. *Clin Exp Gastroenterol.* 2019;12:83–92. DOI: 10.2147/CEG.S165016
 - 6 Fodor M., Woerdehoff A., Peter W., Esser H., Oberhuber R., Margreiter C., et al. Reassessment of relevance and predictive value of parameters indicating early graft dysfunction in liver transplantation: AST is a weak, but bilirubin and INR strong predictors of mortality. *Front Surg.* 2021;8:693288. DOI: 10.3389/fsurg.2021.693288
 - 7 Tripathi N., Mardini H., Koirala N., Raissi D., Emhmed Ali S.M., Frandah W.M. Assessing the utility, findings, and outcomes of percutaneous transhepatic cholangioscopy with Spyglass™ Direct visualization system: a case series. *Transl Gastroenterol Hepatol.* 2020;5:12. DOI: 10.21037/tgh.2019.11.11
 - 8 Mishra S., Taneja S. Algorithmic approach to deranged liver functions after transplantation. *J Clin Exp Hepatol.* 2024;14(3):101317. DOI: 10.1016/j.jceh.2023.101317
 - 9 Sung M.J., Jo J.H., Lee H.S., Park J.Y., Bang S., Park S.W., et al. Optimal drainage of anastomosis stricture after living donor liver transplantation. *Surg Endosc.* 2021;35(11):6307–17. DOI: 10.1007/s00464-021-08456-4
 - 10 Rocha Fernandes Y., Visconti T.A.C., Dall'Agnol M.K., Ardengh A.O., Veras M.O., Valentim E.S.D.S., et al. Covered self-expanding metal stents versus multiple plastic stents in treating biliary strictures post-orthotopic liver transplantation: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *DEN Open.* 2025;6(1):e70143. DOI: 10.1002/deo.270143
 - 11 Çağın Y.F., Erdoğan M.A., Sağlam O., Yıldırım O., Bilgiç Y., Arslan A.K., et al. Optimal endoscopic management of anastomotic strictures after double-biliary reconstruction in right lobe living-donor liver transplantation. *Balkan Med J.* 2021;38(6):348–56. DOI: 10.5152/balkanmedj.2021.21692
 - 12 Ataman E., Harputluoglu M., Bilgic Y., Cagin Y.F., Erdogan M.A., Kutlu R., et al. The course of endoscopic treatment success in biliary complications after living donor liver transplantation. *Medeni Med J.* 2024;39(1):33–8. DOI: 10.4274/MMJ.galenos.2024.89289
 - 13 Jegadeesan M., Goyal N., Rastogi H., Gupta S. Percutaneous transhepatic biliary drainage for biliary stricture after endotherapy failure in living donor liver transplantation: a single-centre experience from India. *J Clin Exp Hepatol.* 2019;9(6):684–9. DOI: 10.1016/j.jceh.2019.03.004
 - 14 Nartaylakov M.A., Sokolov S.V., Sokolov V.P., Gritsaenko A.I., Mukhamedyanov I.F., Risberg R.Yu. Analysis of complications of antegrade x-ray endovascular interventions in patients with obstructive jaundice. *Bashkortostan Medical Journal.* 2017;12(4):9–13 (In Russ.).
 - 15 Büringer K., Schempf U., Fusco S., Wichmann D., Stüker D., Götz M., et al. Feasibility, safety and efficacy of endoscopic single-operator cholangioscopy: a retrospective single-center study. *Therap Adv Gastroenterol.* 2024;17:17562848241288111. DOI: 10.1177/17562848241288111
 - 16 Tu Q.Y., Li D.L., Liu D., Zheng Q.F., Liu B.R. Choledocholithotripsy using peroral direct cholangioscopy through a standard gastroscope for a giant common bile duct stone: a case report. *Gastroenterol Rep (Oxf).* 2024;30(4):goae014. DOI: 10.1093/gastro/goae014
 - 17 Chon H.K., Choi K.H., Seo S.H., Kim T.H. Efficacy and safety of percutaneous transhepatic cholangioscopy with the spyglass DS direct visualization system in patients with surgically altered anatomy: a pilot study. *Gut Liver.* 2022;16(1):111–7. DOI: 10.5009/gnl210028
 - 18 Singh P., Singla V., Goel A., Shawl M.R., Bashir S. Percutaneous cholangioscopy-assisted rendezvous endoscopic retrograde cholangiography technique for a difficult postliver transplant anastomotic stricture. *VideoGIE.* 2025;10(8):402–5. DOI: 10.1016/j.vgie.2025.03.025
 - 19 Zhang W., Sun H., Dong D., Li Y. Safety and feasibility of a novel recanalization technique using guidewire puncture under cholangioscopy for complete biliary stricture after liver transplantation. *Sci Rep.* 2023;13(1):4874. DOI: 10.1038/s41598-023-31475-1
 - 20 Balderramo D., Sendino O., Miquel R., de Miguel C.R., Bordas J.M., Martínez-Pallí G., et al. Prospective evaluation of single-operator peroral cholangioscopy in liver transplant recipients requiring an evaluation of the biliary tract. *Liver Transpl.* 2013;19:199–206. DOI: 10.1002/lt.23585

REFERENCES

- 1 Yoon S.B., Kim J., Paik C.N., Jang D.K., Lee J.K., Yoon W.J., et al. Endoscopic and Percutaneous Biliary Interventions after Liver Transplantation: Nationwide Data in Korea. *Gut Liver.* 2022;16(2):300–7. DOI: 10.5009/gnl20379
- 2 Duffy J.P., Kao K., Ko C.Y., Farmer D.G., McDiarmid S.V., Hong J.C., et al. Long-term patient outcome and quality of life after liver transplantation: analysis of 20-year survivors. *Ann Surg.* 2010;252:652–61. DOI: 10.1097/SLA.0b013e3181f5f23a

- 21 Jang S.I., Fang S., Nahm J.H., Cho J.H., Do M.Y., Lee S.Y., et al. Pre-clinical evaluation of endoscopic placement of a steroid-eluting metal stent in an in vivo porcine benign biliary stricture model. *Sci Rep.* 2022;12(1):8864. DOI: 10.1038/s41598-022-12957-0
- 22 Yasen A., Feng J., Liang R.B., Zhu C.H., Li J., Liu A.Z., et al. Efficiency of percutaneous transhepatic cholangioscopy in the treatment of biliary complications after liver transplantation. *HPB (Oxford).* 2023;25(4):463–71. DOI: 10.1016/j.hpb.2023.01.010
- 23 Stadmeyer P., Dalvie P., Hubers J., Gopal D. Percutaneous transhepatic single-operator cholangioscopy-guided intraductal stone therapy in a liver transplant patient with ischemic cholangiopathy. *ACG Case Rep J.* 2021;8(6):e00595. DOI: 10.14309/crj.0000000000000595
- 24 Clarete A., Nasner D., Toro-Gutiérrez J.S., Holguín-Holguín A. Successful application of percutaneous endoscopic cholangioscopy + electrohydraulic lithotripsy for hepatolithiasis post-liver transplantation: a case report. *J Med Case Rep.* 2024;18(1):472. DOI: 10.1186/s13256-024-04669-y
- 25 Funari M.P., Hirsch B.S., Franzini T.P., de Moura D.T.H., Miranda Neto A.A., McCarty T.R., et al. Role of cholangioscopy and therapeutic options in complex anastomotic strictures after liver transplantation. *Endoscopy.* 2022;54(10):E581–2. DOI: 10.1055/a-1704-7503
- 26 Guillén Graf A.M., Reyna Aréchiga A.I., Escareño Pérez C.E., Bosques-Padilla F., Jáquez Quintana J.O. Digital single-operator cholangioscopy in the evaluation of biliary strictures after liver transplantation. *Rev Esp Enferm Dig.* 2024 Sep 13. DOI: 10.17235/reed.2024.10708/2024
- © Нартайлаков М.А., Нараев Ф.Р., Бакеев М.Р., Минигалин Д.М., Сафаргалина А.Г., 2025
- © Nartailakov M.A., Nagaev F.R., Bakeev M.R., Minigalin D.M., Safargalina A.G., 2025



<https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-384-389>



Муцинозная аденокарцинома правого легкого у ребенка: клинический случай

М.В. Кобелев^{1,2*}, Н.А. Машкина¹, И.Б. Попов^{1,2}, А.С. Кобелева¹, Д.В. Бурый¹, А.С. Абгарян¹

Кобелев Максим Владимирович — к.м.н., хирургическое торакальное отделение № 1, кафедра респираторной медицины с курсом рентгенологии, orcid.org/0009-0001-6298-3298

Машкина Наталья Анатольевна — хирургическое торакальное отделение № 2, orcid.org/0000-0002-7679-0307

Попов Иван Борисович — к.м.н., хирургическое торакальное отделение № 1, кафедра респираторной медицины с курсом рентгенологии, orcid.org/0009-0004-8804-2279

Кобелева Анна Сергеевна — хирургическое торакальное отделение № 1, orcid.org/0000-0003-2548-4331

Бурый Денис Валерьевич — хирургическое торакальное отделение № 2, orcid.org/0009-0009-2761-0339

Абгарян Артем Самвелович — хирургическое торакальное отделение № 1, orcid.org/0009-0006-3797-8426

¹ Областная клиническая больница № 1, Россия, Тюмень

² Тюменский государственный медицинский университет, Россия, Тюмень

* **Контакты:** Кобелев Максим Владимирович, e-mail: M.Kobelev@tokb.ru

Аннотация

Введение. Рак легкого у детей — крайне редкая патология, встречающаяся менее чем в 0,2% случаев всех детских опухолей. Наиболее часто выявляются аденокарцинома и карциноидные опухоли, которые, как показывают последние мультицентровые исследования, нередко диагностируются уже на поздних стадиях из-за отсутствия специфической симптоматики и трудностей дифференциальной диагностики. **Материалы и методы.** В статье представлен клинический случай инвазивной муцинозной аденокарциномы легкого у ребенка 9 лет. **Результаты.** Опухоль выявлена случайно при выполнении компьютерной томографии грудной клетки. Изменения в легких были расценены как деструктивная пневмония, по поводу которой пациент длительно получал лечение, на фоне которого наступило клиническое улучшение. Однако при контрольной компьютерной томографии была выявлена отрицательная динамика. Учитывая локализацию изменений в одной доле, после проведенной предоперационной подготовки пациенту была выполнена верхняя лобэктомия с систематической медиастинальной лимфодиссекцией. Гистологически установлен диагноз: инвазивная муцинозная аденокарцинома легкого. Специальное противоопухолевое лечение не проводилось. Пациент находится под динамическим наблюдением без признаков рецидива. **Обсуждение.** Данный клинический случай показывает проблемы диагностики рака легкого у детей, а также проблемы стадирования заболевания и определения тактики лечения. **Заключение.** Подчеркивается необходимость разработки четких клинических рекомендаций по диагностике и лечению рака легкого у детей с учетом анатомо-физиологических особенностей детского организма.

Ключевые слова: рак легкого у детей, муцинозная аденокарцинома легкого, дети, компьютерная томография, диагностические трудности, торакотомия, лобэктомия

Информированное согласие. Информированное согласие родителей пациента на публикацию данных получено.

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Данная работа не финансировалась.

Вклад авторов. Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Для цитирования: Кобелев М.В., Машкина Н.А., Попов И.Б., Кобелева А.С., Бурый Д.В., Абгарян А.С. Муцинозная аденокарцинома правого легкого у ребенка: клинический случай. Креативная хирургия и онкология. 2025;15(4):384–389. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-384-389>

Поступила в редакцию: 11.08.2025

Поступила после рецензирования и доработки: 25.09.2025

Принята к публикации: 29.09.2025

Mucinous Adenocarcinoma of the Right Lung in a Child: Clinical case

Maksim V. Kobelev^{1,2*}, Natalia A. Mashkina¹, Ivan B. Popov^{1,2}, Anna S. Kobeleva¹, Denis V. Buryi¹, Artem S. Abgaryan¹

¹Regional Clinical Hospital No. 1, Tyumen, Russian Federation

²Tyumen State Medical University, Tyumen, Russian Federation

*Correspondence to: Maksim V. Kobelev, e-mail: M.Kobelev@tokb.ru

Abstract

Introduction. Lung cancer in children is an extremely rare pathology occurring in less than 0.2% of all childhood tumors. The most frequently detected tumors are adenocarcinoma and carcinoid tumors, which are often diagnosed at late stages due to the lack of specific symptoms and difficulties in differential diagnosis. **Materials and methods.** The article presents a clinical case of invasive mucinous adenocarcinoma of the lung in a 9-year-old child. **Results.** The tumor was incidentally found during a chest computed tomography scan. Changes in the lungs were assessed as destructive pneumonia, for which the patient received long-term treatment resulted in clinical improvement. However, a control computed tomography scan revealed negative dynamics. Given the localization of changes in one lobe, the patient underwent an upper lobectomy with systematic mediastinal lymph node dissection after preoperative preparation. Histologically, the diagnosis was invasive mucinous adenocarcinoma of the lung. No specific antitumor treatment was administered. The patient is currently under dynamic observation without signs of relapse. **Discussion.** This clinical case demonstrates the problems of diagnosing lung cancer in children, as well as the problems of staging the disease and determining treatment tactics. **Conclusion.** The performed study emphasizes the need to develop clear clinical guidelines for the diagnosis and treatment of lung cancer in children, taking into account anatomical and physiological characteristics of the child's body.

Keywords: lung cancer in children, mucinous adenocarcinoma of the lung, children, computed tomography, diagnosis difficulties, thoracotomy, lobectomy

Statement of informed consent. Written informed consent was obtained from the patient's parents for publication of this case report and accompanying materials.

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

Sponsorship data. This work is not funded.

Author contributions. The authors contributed equally to this article.

For citation: Kobelev M.V., Mashkina N.A., Popov I.B., Kobeleva A.S., Buryi D.V., Abgaryan A.S. Mucinous adenocarcinoma of the right lung in a child: Clinical case. *Creative Surgery and Oncology*. 2025;15(4):384–389. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-384-389>

Received: 11.08.2025

Revised: 25.09.2025

Accepted: 29.09.2025

Maksim V. Kobelev — Cand. Sci. (Med.), Surgery Thoracic Unit No. 1, Department of Respiratory Medicine with a course in Radiology, orcid.org/0009-0001-6298-3298

Natalia A. Mashkina — Surgery Thoracic Unit No. 2, orcid.org/0000-0002-7679-0307

Ivan B. Popov — Cand. Sci. (Med.), Surgery Thoracic Unit No. 1, Department of Respiratory Medicine with a course in Radiology, orcid.org/0009-0004-8804-2279

Anna S. Kobeleva — Surgery Thoracic Unit No. 1, orcid.org/0000-0003-2548-4331

Denis V. Buryi — Surgery Thoracic Unit No. 2, orcid.org/0009-0009-2761-0339

Artem S. Abgaryan — Surgery Thoracic Unit No. 1, orcid.org/0009-0006-3797-8426

ВВЕДЕНИЕ

Рак легкого у детей — крайне редкая онкопатология, что подчеркивается данными мультицентровых и единичных исследований. Количество описанных случаев муцинозной аденокарциномы у детей в России крайне ограничено, что может быть следствием ее редкости или недостаточного освещения [1]. По данным Q. Chen и соавт. [2], среди всех случаев опухолей у детей и подростков первичный рак легкого встречается с частотой менее 0,2%. Наибольшее число выявленных случаев приходится на аденокарциному и карциноидные опухоли. В крупном ретроспективном анализе 74 пациентов младше 20 лет было показано, что большинство детей обращаются уже при запущенных стадиях, а в структуре опухолей преобладают периферические формы, что затрудняет раннюю диагностику [2].

Особое внимание привлекают данные европейского мультицентрового исследования [3, 4], где отмечается высокий процент поздней диагностики и низкая выживаемость при мелкоклочном и недифференцированном раке. W.R. Balzer и соавт. отдельно подчеркивают, что аденокарцинома легкого у детей может протекать с ранними метастазами в мозг [5], что подтверждает клинический случай L. De Martino и др. [6]. При этом P. Borgia и соавт. подчеркивают, что даже при современной диагностике исходы чаще зависят от стадии и ги-

стологического типа, а радикальная хирургия остается основным методом лечения [7].

В российской литературе подчеркивается, что у детей чаще диагностируется не первичный рак, а метастатическое поражение легких при солидных опухолях, таких как саркомы костей и мягких тканей [8]. Это требует тщательного мониторинга и дифференциальной диагностики при выявлении очагов в легких. В целом редкость патологии, отсутствие единого стандарта скрининга и малочисленные клинические наблюдения затрудняют накопление клинического опыта, что подчеркивается во всех современных обзорах и единичных клинических случаях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Согласно заключению локального этического комитета, получение его одобрения не требовалось, поскольку исследование не сопряжено с рисками для участников. Тем не менее информированное согласие было получено от всех участников.

Клиническое наблюдение лечения пациента 9 лет с инвазивной муцинозной аденокарциномой легкого. Ребенок от первой беременности, первых родов путем кесарева сечения. Родился в сроке 37 недель, масса тела — 3600 г. Растет и развивается в соответствии с возрастом. Перенесенные заболевания: ОРВИ, ветряная оспа. Операций, травм не было. Аллергоанамнез не отягощен. Переливания крови отрицает. Прививочный сертификат в ИБ, ДСТ — отрицательно, БЦЖ р 5 мм.

Из анамнеза: Заболел за 3 месяца до последней госпитализации. Началось заболевание с клиники ротавирусного гастроэнтерита, проходил лечение в областной инфекционной клинической больнице. Во время госпитализации выполнена компьютерная томограмма органов грудной клетки: На полученных КТ-сканах в верхней доле правого легкого определялся фокус инфильтрации с полостью деструкции. В язычковом сегменте определялся ателектаз. Бронхи 1–3-го порядка проходимы на всем протяжении. Признаков увеличения медиастинальных лимфоузлов на полученных КТ-сканах нет. Жидкости в плевральных полостях не выявлено. На фоне проводимой терапии динамика положительная, купирование симптомов интоксикации. При контрольной компьютерной томограмме органов грудной клетки через месяц без динамики.

Консультирован пульмонологом, по результатам заключения которого назначены осмотр торакального хирурга и обследование в стационарных условиях: выполнена диагностическая фибробронхоскопия (ФБС), взяты смывы на кислотоустойчивые микобактерии (КУМ), ПЦР на микобактерии туберкулеза (МБТ). Материал был направлен и консультирован во фтизиопульмонологическом диспансере — ДНК к микобактерии не получено. Фтизиатрами туберкулез легких был исключен. Контрольная компьютерная томограмма органов грудной клетки с внутривенным контрастированием через 3 месяца: Легкие расправлены. Легочные поля слева без очаговых и инфильтративных изменений. В S3 справа определяется зона плотной инфильтрации с перифо-



Рисунок 1. МСКТ-скан образования S3 правого легкого
Figure 1. MSCT scan of the S3 lesion in the right lung



Рисунок 2. МСКТ-скан образования S3 правого легкого
Figure 2. MSCT scan of the S3 lesion in the right lung

кальным уплотнением по типу «матового стекла», с полостями распада, в сравнении с КТ-архивом усиление плотности и увеличение размеров. Без признаков патологического накопления контрастного вещества. Трахея и крупные бронхи не изменены. Плеврального выпота не выявлено. Средостение не расширено, в полости перикарда выпота нет. Внутригрудные и подмышечные лимфоузлы не увеличены. Мягкие ткани грудной стенки не изменены. Костные структуры без патологических изменений. Заключение: КТ-признаки деструктивной сегментарной (S3) пневмонии. Отрицательная динамика. Фибробронхоскопия: Голосовая щель треугольной формы, симметричная. Трахея цилиндрической формы. Карина острая. Межбронхиальные шпоры узкие. Просвет бронхов прослеживается до субсегментов с обеих сторон. В просвете бронхиального дерева — слизистый секрет в умеренном количестве. Слизистая оболочка розовая. Взятие промывных вод на микобактерии туберкулеза, микрофлору, атипичные клетки из верхнедолевого бронха справа. Заключение: Органической патологии не обнаружено. Микробиологический посев промывных вод бронхов: *Streptococcus haemolyticus* альфа 10⁴. В лабораторных анализах без изменений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.

Через 3 месяца от выявления процесса в легком пациент был госпитализирован в хирургическое торакальное отделение ГБУЗ ТО «ОКБ № 1». После проведенной предоперационной подготовки была выполнена боковая торакотомия справа, верхняя лобэктомия. Срочное гистологическое исследование: В материале фрагменты ткани легкого с наличием образования, представленного из крупных клеток, с гиперхромными ядрами, формирующих в основном папиллярные структуры, часть клеток имеют включения по типу муцина. Заключение: Морфологическая картина наиболее подозрительна в отношении опухоли неопределенного злокачественного потенциала. Объем операции дополнен систематической медиастиальной лимфодиссекцией. Послеоперационный период протекал без осложнений. Дренажи удалены на 5-е сутки, после прекращения экссудации из плевральной полости. При контрольной рентгенографии органов грудной клетки внутривидеальных осложнений нет. Легкие расправлены. Средостение не смещено. Синусы свободны. Плановое гистологическое исследование: В материале фрагменты легочной паренхимы с наличием опухоли эпителиальной природы, построенной железистыми и папиллярными структурами, выстланными высокими цилиндрическими слизеобразующими клетками, с мономорфными светлыми ядрами с контурированными ядрышками, с единичными патологическими митозами. Вне опухоли легочная паренхима обычного строения, с дистелектазами, диапетезными, крупноочаговыми кровоизлияниями. По периферии опухоли отмечается умеренная очагово-диффузная мононуклеарная инфильтрация, обилие альвеолярных макрофагов. Край резекции бронха без опухолевого поражения. Заключение: Морфологическая картина муцинозной аденокарциномы G1. 8253/3.

Препараты пересмотрены в референс-лаборатории ФГБУ «НМИЦ им Д. Рогачева». Микроскопическое описание: В исследованном материале — ткань легкого с мультифокальным инвазивным ростом опухоли, построенной из призматических клеток с обильной слабоэозинофильной цитоплазмой, содержащей капли муцина и некрупными базально расположенными ядрами. Неопластические элементы располагаются среди обилия внеклеточного муцина. Край резекции не маркированы, в препаратах проходят по неизменной ткани. Лимфатические узлы без признаков метастатического поражения. При иммуногистохимическом исследовании в клетках опухоли определяется экспрессия CK7, негативная реакция с антителами к SATB2, CK20, TTF1. Заключение: Инвазивная муцинозная аденокарцинома легкого. ICD-O code 8253/3. Комментарий: Рекомендовано проведение молекулярно-генетического исследования с целью выявления мутаций KRAS, EGFR, NRG1, ALK, ERBB2, ERBB4, BRAF, RET, ROS1, NTRK1. Клинический диагноз: Периферический рак верхней доли правого легкого, T2aN0M0, IIa стадия, II клиническая группа. Операция: торакотомия справа, расширенная верхняя лобэктомия. Гистологическое исследование: Инвазивная муцинозная аденокарцинома легкого. ICD-O code 8253/3.

Выполнено молекулярно-генетическое исследование венозной крови пациента и его родителей. Заключение: В результате анализа методом NGS в представленном материале не выявлено патогенных вариантов.

Выполнено молекулярно-генетическое исследование гистологического материала, опухолевой ткани. Заключение: В результате анализа методом NGS в представленном материале выявлены клинически значимые варианты в генах: KRAS (chr12:25245350C>T, NM_004985.5): c.35G>A, p.Gly12Asp; PIK3CA (chr3:179234288A>G, NM_006218.4): c.3131A>G, p.Asn1044Ser.

Мутация KRAS встречается в нескольких клинических случаях, опубликованных ранее. Это указывает на возможную роль KRAS в развитии муцинозной аденокарциномы у детей [9–11].

После выписки пациент был направлен в ФГБУ «НМИЦ ДГОИ им. Д. Рогачева», ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина». Выполнена ПЭТ КТ. Дополнительных патологических изменений выявлено не было. Проведен онкологический консилиум — специальное противоопухолевое лечение пациенту не показано, рекомендовано динамическое наблюдение.

При контрольных обследованиях в течение года данных за прогресс или рецидив заболевания нет.

Таким образом, оперативное лечение является наиболее успешным вариантом в случае муцинозной аденокарциномы, и прогноз для жизни хороший (по крайней мере, в краткосрочной перспективе [12–14]).

Часто проявления заболевания неспецифичны: кашель с мокротой, симптомы, напоминающие инфекцию. В некоторых случаях опухоли могут выявляться случайно на КТ [15–19].

На наш взгляд, одной из основных проблем, кроме поздней диагностики заболевания, в лечении рака легкого у детей является отсутствие каких-либо

клинических рекомендаций по лечению данной патологии. Насколько допустимо использование клинических рекомендаций для взрослых [20]? Насколько допустимо при стадировании по TNM использование размеров первичной опухоли, указанных в клинических рекомендациях у взрослых, учитывая анатомо-физиологические различия между детьми и взрослыми? Также отсутствуют рекомендации по специфическому лечению рака легкого у детей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наш клинический случай показывает трудности диагностики и лечения рака легкого у детей. Отсутствие специфической симптоматики приводит к удлинению диагностики заболевания и затягиванию начала лечения. А при отсутствии онконастороженности у педиатров может привести к запущенности заболевания. Радикальная операция, при возможности ее выполнения, является основным методом лечения рака легкого у детей. Учитывая редкость патологии и актуальность проблемы, необходима разработка международных клинических рекомендаций по лечению рака легкого у детей и создание национального реестра очень редких опухолей (муцинозных) у детей для сбора данных, клинического и молекулярного анализа.

Статья написана к II Евразийскому конгрессу торакальных хирургов 5–7 декабря 2025 г., Уфа.
This article was prepared for the 2nd Eurasian Congress of Thoracic Surgeons, December 5–7, 2025, Ufa, Russia.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Zabolotskikh T.V., Babenko A.A., Grigorenko G.V., Medvedeva S.V., Kharchenko M.V. Клинический случай муцинозной инвазивной аденокарциномы легкого у подростка. Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2025;70(3):95–9. DOI: 10.21508/1027-4065-2025-70-3-95-99
- Chen Q., Cheng J., Wang L., Lv X., Hu J. Primary lung cancer in children and adolescents. *J Cancer Res Clin Oncol*. 2024;150(5):225. DOI: 10.1007/s00432-024-05750-1
- Abele M., Bajciová V., Wright F., Behjati S., Voggel S., Schneider D.T., et al. Primary lung carcinoma in children and adolescents: An analysis of the European Cooperative Study Group on Paediatric Rare Tumours (EXPeRT). *Eur J Cancer*. 2022;175:19–30. DOI: 10.1016/j.ejca.2022.08.007
- Chen W., Bai J., Fang Y., Wu D., Zhang B. Prognostic factors and surgical management in pediatric primary lung cancer: a retrospective cohort study using SEER data. *Transl Pediatr*. 2024;13(10):1671–83. DOI: 10.21037/tp-24-174
- Balzer B.W.R., Loo C., Lewis C.R., Trahair T.N., Anazodo A.C. Adenocarcinoma of the Lung in Childhood and Adolescence: A Systematic Review. *J Thorac Oncol*. 2018;13(12):1832–41. DOI: 10.1016/j.jtho.2018.08.2020
- De Martino L., Errico M.E., Ruotolo S., Cascone D., Chiaravalli S., Collini P., et al. Pediatric lung adenocarcinoma presenting with brain metastasis: a case report. *J Med Case Rep*. 2018;12(1):243. DOI: 10.1186/s13256-018-1781-1
- Borgia P., Cafferata B., Paratore C., Anfigeno L., Conte A., Florio A., et al. Primary lung tumors in children: insights from a single-center case series. *J Clin Med*. 2025;14(7):2173. DOI: 10.3390/jcm14072173
- Гумбатова Э.Д. Метастатическое поражение легких у детей с солидными опухолями: исторический экскурс. Российский журнал детской гематологии и онкологии. 2019;6(1):56–60. DOI: 10.17650/2311-1267-2019-6-1-56-60
- Koh J., Jung E., Jang S.J., Kim D.K., Lee B.S., Kim K.S., et al. Case of mucinous adenocarcinoma of the lung associated with congenital pulmonary airway malformation in a neonate. *Korean J Pediatr*. 2018;61(1):30–4. DOI: 10.3345/kjp.2018.61.1.30

- Ge L., Wang L., Pei D. Pulmonary mucinous adenocarcinoma: An overview of pathophysiology and advancements in treatment. *Heliyon*. 2024;10(9):e28881. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e28881
- Buettner R. Invasive mucinous adenocarcinoma: genetic insights into a lung cancer entity with distinct clinical behavior and genomic features. *Mod Pathol*. 2022;35(2):138–9. DOI: 10.1038/s41379-021-00945-0
- Huang F., Wang H., Qiao R., Ganti A.K., Kudo Y., Zhang Y., et al. Prognostic analysis and development of a predictive model for pulmonary invasive mucinous adenocarcinoma. *J Thorac Dis*. 2025;17(7):5146–63. DOI: 10.21037/jtd-2025-755
- Zhou P., Zhaxi C., Jiang L. A unique case of pulmonary minimally invasive mucinous adenocarcinoma arising from atypical goblet cell hyperplasia in the bronchial epithelium of a 9-year-old girl. *BMC Pediatr*. 2025;25(1):333. DOI: 10.1186/s12887-025-05683-9
- Türüt H., Demirag F., Gulhan E., Tastepe I. Primary pulmonary mucinous adenocarcinoma in a 15-year-old boy. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2006;29(5):851–3. DOI: 10.1016/j.ejcts.2006.01.051
- Бонцевич Р.А., Хамитова А.А., Данилова М.С., Завиткевич Г.И., Гаврилов П.В. Диффузная форма аденокарциномы под маской пневмонии. Актуальные проблемы медицины. 2025;48(2):134–45. DOI: 10.52575/2687-0940-2025-48-2-134-145
- Huo J.W., Huang X.T., Li X., Gong J.W., Luo T.Y., Li Q. Pneumonic-type lung adenocarcinoma with different ranges exhibiting different clinical, imaging, and pathological characteristics. *Insights Imaging*. 2021;12(1):169. DOI: 10.1186/s13244-021-01114-2
- Zhang S., Yu X., Huang Y., Nie P., Deng Y., Mao N., et al. Pneumonic type invasive mucinous adenocarcinoma and infectious pneumonia: clinical and CT imaging analysis from multiple centers. *BMC Pulm Med*. 2022;22(1):460. DOI: 10.1186/s12890-022-02268-5
- Yang Y., Huang R., Xiang L., Zeng J., Zhao W., Huang N. Invasive mucinous adenocarcinoma misdiagnosed as pneumonia: A case report. *Exp Ther Med*. 2023;25(4):168. DOI: 10.3892/etm.2023.11867
- Zhu D., Zhang Q., Rui Z., Xu S. Pulmonary invasive mucinous adenocarcinoma mimicking pulmonary actinomycosis. *BMC Pulm Med*. 2022;22(1):181. DOI: 10.1186/s12890-022-01971-7
- Лактионов К.К., Артамонова Е.В., Борисова Т.Н., Бредер В.В., Бычков Ю.М., Владимиров Л.Ю. и др. Злокачественное новообразование бронхов и легкого. 2021;23(3):369–402. DOI: 10.26442/18151434.2021.3.201048

REFERENCES

- Zabolotskikh T.V., Babenko A.A., Grigorenko G.V., Medvedeva S.V., Kharchenko M.V. Clinical case of mucinous invasive adenocarcinoma of the lung in an adolescent. *Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*. 2025;70(3):95–9 (In Russ.). DOI: 10.21508/1027-4065-2025-70-3-95-99
- Chen Q., Cheng J., Wang L., Lv X., Hu J. Primary lung cancer in children and adolescents. *J Cancer Res Clin Oncol*. 2024;150(5):225. DOI: 10.1007/s00432-024-05750-1
- Abele M., Bajciová V., Wright F., Behjati S., Voggel S., Schneider D.T., et al. Primary lung carcinoma in children and adolescents: An analysis of the European Cooperative Study Group on Paediatric Rare Tumours (EXPeRT). *Eur J Cancer*. 2022;175:19–30. DOI: 10.1016/j.ejca.2022.08.007
- Chen W., Bai J., Fang Y., Wu D., Zhang B. Prognostic factors and surgical management in pediatric primary lung cancer: a retrospective cohort study using SEER data. *Transl Pediatr*. 2024;13(10):1671–83. DOI: 10.21037/tp-24-174
- Balzer B.W.R., Loo C., Lewis C.R., Trahair T.N., Anazodo A.C. Adenocarcinoma of the Lung in Childhood and Adolescence: A Systematic Review. *J Thorac Oncol*. 2018;13(12):1832–41. DOI: 10.1016/j.jtho.2018.08.2020
- De Martino L., Errico M.E., Ruotolo S., Cascone D., Chiaravalli S., Collini P., et al. Pediatric lung adenocarcinoma presenting with brain metastasis: a case report. *J Med Case Rep*. 2018;12(1):243. DOI: 10.1186/s13256-018-1781-1
- Borgia P., Cafferata B., Paratore C., Anfigeno L., Conte A., Florio A., et al. Primary lung tumors in children: insights from a single-center case series. *J Clin Med*. 2025;14(7):2173. DOI: 10.3390/jcm14072173
- Gumbatova E.D. Metastatic lung disease in children with solid tumors: a historical excursion. *Russian Journal of Pediatric Hematology and Oncology* 2019;6(1):56–60 (In Russ.). DOI: 10.17650/2311-1267-2019-6-1-56-60
- Koh J., Jung E., Jang S.J., Kim D.K., Lee B.S., Kim K.S., et al. Case of mucinous adenocarcinoma of the lung associated with congenital pulmonary airway malformation in a neonate. *Korean J Pediatr*. 2018;61(1):30–4. DOI: 10.3345/kjp.2018.61.1.30

- 10 Ge L., Wang L., Pei D. Pulmonary mucinous adenocarcinoma: An overview of pathophysiology and advancements in treatment. *Heliyon*. 2024;10(9):e28881. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e28881
- 11 Buettner R. Invasive mucinous adenocarcinoma: genetic insights into a lung cancer entity with distinct clinical behavior and genomic features. *Mod Pathol*. 2022;35(2):138–9. DOI: 10.1038/s41379-021-00945-0
- 12 Huang F., Wang H., Qiao R., Ganti A.K., Kudo Y., Zhang Y., et al. Prognostic analysis and development of a predictive model for pulmonary invasive mucinous adenocarcinoma. *J Thorac Dis*. 2025;17(7):5146–63. DOI: 10.21037/jtd-2025-755
- 13 Zhou P., Zhaxi C., Jiang L. A unique case of pulmonary minimally invasive mucinous adenocarcinoma arising from atypical goblet cell hyperplasia in the bronchial epithelium of a 9-year-old girl. *BMC Pediatr*. 2025;25(1):333. DOI: 10.1186/s12887-025-05683-9
- 14 Türüt H., Demirag F., Gulhan E., Tastepe I. Primary pulmonary mucinous adenocarcinoma in a 15-year-old boy. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2006;29(5):851–3. DOI: 10.1016/j.ejcts.2006.01.051
- 15 Bontsevich R.A., Khamitova A.A., Danilova M.S., Zavitkevich G.I., Gavrilo P.V. Diffuse Form of Adenocarcinoma under the Guise of Pneumonia. *Challenges in Modern Medicine*. 2025;48(2):134–145 (In Russ.). DOI: 10.52575/2687-0940-2025-48-2-134-145
- 16 Huo J.W., Huang X.T., Li X., Gong J.W., Luo T.Y., Li Q. Pneumonic-type lung adenocarcinoma with different ranges exhibiting different clinical, imaging, and pathological characteristics. *Insights Imaging*. 2021;12(1):169. DOI: 10.1186/s13244-021-01114-2
- 17 Zhang S., Yu X., Huang Y., Nie P., Deng Y., Mao N., et al. Pneumonic type invasive mucinous adenocarcinoma and infectious pneumonia: clinical and CT imaging analysis from multiple centers. *BMC Pulm Med*. 2022;22(1):460. DOI: 10.1186/s12890-022-02268-5
- 18 Yang Y., Huang R., Xiang L., Zeng J., Zhao W., Huang N. Invasive mucinous adenocarcinoma misdiagnosed as pneumonia: A case report. *Exp Ther Med*. 2023;25(4):168. DOI: 10.3892/etm.2023.11867
- 19 Zhu D., Zhang Q., Rui Z., Xu S. Pulmonary invasive mucinous adenocarcinoma mimicking pulmonary actinomycosis. *BMC Pulm Med*. 2022;22(1):181. DOI: 10.1186/s12890-022-01971-7
- 20 Laktionov K.K., Artamonova E.V., Borisova T.N., Breder V.V., Bychkov I.M., Vladimirova L.I., et al. Malignant neoplasm of the bronchi and lung: Russian clinical guidelines. *Journal of Modern Oncology*. 2021;23(3):369–402 (In Russ.). DOI: 10.26442/18151434.2021.3.201048
- © Кобелев М.В., Машкина Н.А., Попов И.Б., Кобелева А.С., Бурый Д.В., Абгарян А.С., 2025
- © Koblelev M.V., Mashkina N.A., Popov I.B., Kobleleva A.S., Buryi D.V., Abgaryan A.S., 2025



<https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-390-401>



Острая неокклюзионная мезентериальная ишемия

Тимербулатов Шамиль Вилевич — д.м.н., профессор, кафедра хирургии и эндоскопии, orcid.org/0000-0002-4832-6363

Гафарова Айгуль Радиковна — к.м.н., кафедра хирургии и эндоскопии, orcid.org/0000-0003-2874-7213

Плечев Вячеслав Владимирович — ординатор, кафедра госпитальной и сердечно-сосудистой хирургии, orcid.org/0000-0002-6085-2673

Гараев Руслан Рашифович — к.м.н., кафедра общей хирургии, трансплантологии и лучевой диагностики, orcid.org/0000-0003-1996-4830

Тимербулатов Виль Мамитович — д.м.н., чл.-корр. РАН, профессор, кафедра хирургии и эндоскопии, orcid.org/0000-0003-1696-3146

Ш.В. Тимербулатов, А.Р. Гафарова, В.В. Плечев, Р.Р. Гараев, В.М. Тимербулатов*

Башкирский государственный медицинский университет, Россия, Республика Башкортостан, Уфа

* **Контакты:** Гафарова Айгуль Радиковна, e-mail: argafarova@yandex.ru

Аннотация

В обзоре представлен анализ современной научной литературы, посвященной острой неокклюзионной мезентериальной ишемии (ОНМИ) — тяжелой патологии с летальностью до 80%. Рассматриваются ключевые аспекты патогенеза, основные факторы риска и особенности клинической картины, затрудняющие раннюю диагностику. Особое внимание уделено возможностям и ограничениям современных методов диагностики, включая мультиспиральную компьютерно-томографическую ангиографию (МСКТ-А) и определение биомаркеров. Подробно проанализированы стратегии консервативного лечения (антикоагулянтная, системная вазодилатационная терапия) и хирургических вмешательств, включая ревазуляризацию, резекцию нежизнеспособных участков кишки и тактику damage control surgery. Обсуждается критически важная роль эксплоративной лапаротомии и лапароскопии в верификации диагноза и интраоперационной оценки жизнеспособности кишечника. Подчеркивается необходимость мультидисциплинарного подхода и создания специализированных центров для улучшения исходов лечения.

Ключевые слова: острая неокклюзионная мезентериальная ишемия, факторы риска, биомаркеры, КТ-ангиография, лапаротомия, лапароскопия, антикоагулянтная терапия, антитромботическая терапия, инфузионная терапия

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Данная работа не финансировалась.

Вклад авторов. Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Для цитирования: Тимербулатов Ш.В., Гафарова А.Р., Плечев В.В., Гараев Р.Р., Тимербулатов В.М. Острая неокклюзионная мезентериальная ишемия. Креативная хирургия и онкология. 2025;15(4):390–401. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-390-401>

Поступила в редакцию: 29.04.2025

Поступила после рецензирования и доработки: 18.06.2025

Принята к публикации: 26.06.2025

Acute Non-Occlusive Mesenteric Ischemia

Shamil V. Timerbulatov, Aigul R. Gafarova*, Vyacheslav V. Plechev, Ruslan R. Garaev, Vil M. Timerbulatov

Bashkir State Medical University, Ufa, Russian Federation

*Correspondence to: Aigul R. Gafarova, e-mail: argafarova@yandex.ru

Abstract

The present paper reviews contemporary scientific literature devoted to acute non-occlusive mesenteric ischemia (ANMI) as a severe pathology with a mortality rate of up to 80%. The key aspects of pathogenesis, main risk factors and features of the clinical picture that complicate early diagnosis are considered. Particular attention is paid to the capabilities and limitations of contemporary diagnostic methods, including multislice computed tomography angiography (MSCT-A) and determination of biomarkers. Conservative treatment strategies, such as anticoagulant and systemic vasodilatation therapy, and surgical interventions, including revascularization, resection of non-viable sections of the intestine and damage control surgery tactics are analyzed in detail. The critical role of exploratory laparotomy and laparoscopy in verifying the diagnosis and intraoperative assessment of intestinal viability is discussed. The emphasis is put on the need for a multidisciplinary approach and creation of specialized centers to improve treatment outcomes.

Keywords: acute non-occlusive mesenteric ischemia, risk factors, biomarkers, CT angiography, laparotomy, laparoscopy, anticoagulant therapy, antithrombotic therapy, infusion therapy

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

Sponsorship data. This work is not funded.

Author contributions. The authors contributed equally to this article.

For citation: Timerbulatov Sh.V., Gafarova A.R., Plechev V.V., Garaev R.R., Timerbulatov V.M. Acute non-occlusive mesenteric ischemia. *Creative Surgery and Oncology*. 2025;15(4):390–401. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-390-401>

Received: 29.04.2025

Revised: 18.06.2025

Accepted: 26.06.2025

Shamil V. Timerbulatov — Dr. Sci. (Med.), Prof., Department of Surgery and Endoscopy, orcid.org/0000-0002-4832-6363

Aigul R. Gafarova — Cand. Sci. (Med.), Department of Surgery and Endoscopy, orcid.org/0000-0003-2874-7213

Vyacheslav V. Plechev — Resident, Department of Hospital and Cardiovascular Surgery, orcid.org/0000-0002-6085-2673

Ruslan R. Garaev — Cand. Sci. (Med.), Department of General Surgery, Transplantology and X-Ray Diagnostic, orcid.org/0000-0003-1996-4830

Vil M. Timerbulatov — Dr. Sci. (Med.), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Prof., Department of Surgery and Endoscopy, orcid.org/0000-0003-1696-3146

ВВЕДЕНИЕ

Острая мезентериальная ишемия (ОМИ) — группа заболеваний, характеризующихся нарушением кровоснабжения различных отделов кишечника, приводящим к ишемии и вторичным воспалительным изменениям при отсутствии лечения. Общая заболеваемость ОМИ относительно низкая (0,09–0,2 % всех экстренных госпитализаций в отделения неотложной помощи), что представляет нечастую причину болей в животе [1–3], но является частой причиной резекции кишечника в экстренном порядке. Важными факторами снижения летальности, превышающей 50 %, являются своевременная диагностика и лечение [4–8].

Традиционно для лечения ОМИ применялись открытые хирургические способы, но за последние два десятилетия достаточно важным лечебным мероприятием стали эндоваскулярные методы. Отдельные исследования показывают, что применение эндоваскулярной хирургии связано с более низкими показателями летальности и резекции кишечника, чем при использовании открытых методов хирургического лечения [9–13].

Неокклюзионная острая мезентериальная ишемия (ОНМИ) — острое нарушение мезентериального кровообращения без органической обструкции основного ствола мезентериальной артерии или вены. При данной патологии наблюдается чрезвычайно высокая смертность — до 80 % [14, 15].

Патогенез и факторы риска

Патогенез неокклюзионной мезентериальной ишемии представляет собой каскад нарушений, инициированный снижением перфузионного давления в мезентериальном бассейне на фоне системной гипоперфузии. Ключевым звеном является компенсаторный спазм мезентериальных артериол, направленный на централизацию кровообращения, но усугубляющий ишемию кишечной стенки. Это состояние прогрессирует от обратимой гипоксии слизистого слоя до трансмурального некроза с перфорацией [16]. Установлены факторы риска развития ОНМИ — это низкий уровень сердечного выброса, септический или геморрагический шок, использование сосудосуживающих препаратов, гемодиализ, обезвоживание, обширные операции на грудной или брюшной полости и любые критические состояния [1, 16–18].

Некоторыми авторами при подозрении на ОНМИ была рекомендована экстренная лапаротомия, однако клинические результаты не улучшались [19–22].

Очевидно, что трудно определить подходящую линию резекции кишечника по интраоперационным данным из-за потенциально многоочагового и прогрессирующего характера ишемической болезни. Кроме того, хирургический стресс сам по себе индуцирует высвобождение цитокинов и катехоламинов, усугубляя ишемию внутренних органов [23, 24].

При ОНМИ существует некий спектр тяжести повреждения, от легкой ишемии слизистой оболочки до трансмурального некроза кишечника и перфорации [16], в отдельных исследованиях были показаны успешные результаты консервативного лечения начальной стадии с ограниченной ишемией стенки кишки [21].

Однако принятие решения о проведении консервативного лечения ОНМИ является сложной задачей, и зачастую необходимо провести хирургическое исследование (лапаротомия/лапароскопия) для окончательной диагностики ишемии и определения ее тяжести. Кроме того, отсроченное решение о хирургическом лечении может поставить под угрозу шансы на выживание.

В других исследованиях была проведена оценка предикторов риска развития ОНМИ и факторов, влияющих на исход хирургического вмешательства [19–22], но критерии принятия решения о неоперативном лечении плохо определены. Случаи ОНМИ все чаще встречаются в связи со старением населения в последние десятилетия [25].

Диагностика

Несмотря на осведомленность об угрожающем жизни патологическом состоянии, диагностика и лечение ОНМИ остаются сложными и нерешенными. Достаточно часто выполняются диагностические лапаротомии для определения ишемии кишечника без проведения лечебных процедур. Ключевой механизм развития ОНМИ можно объяснить чрезмерной физиологической реакцией на поддержание инфузии жизненно важных органов за счет мезентериальной перфузии, что приводит к стойкому сужению/спазму брыжеечных сосудов [16]. Согласно этой гипотезе, наиболее важным в лечении ОНМИ являются сокращение продолжительности и тяжести системной недостаточности кровообращения и инфузионная терапия без перегрузки, что критически важно в начальной терапии [17].

Представлены результаты исследования 457 пациентов с ОНМИ, диагноз был подтвержден специфическими данными при мультidetекторной КТ с контрастным усилением. 26 пациентам было проведено консервативное лечение, в том числе 4 пациентам выполнили эксплоративную лапаротомию или лапароскопию [26]. Из 26 пациентов восемь (31 %) дожили до выписки. При этом уровень альбумина был значительно выше, а уровни лактатдегидрогеназы, общего билирубина, С-реактивного белка и лактата были значительно ниже у выживших, чем у умерших. Оценка органной недостаточности (SOFA), связанная с сепсисом, была значительно ниже у выживших. Наиболее надежным предиктором выживаемости при ОНМИ была оценка по шкале SOFA (пороговое значение ≤ 3 балла), которая имела самое высокое значение AUC (0,899) с отношением шансов 0,075 (95 % ДИ: 0,096–0,58).

Острая неокклюзионная мезентериальная ишемия встречается примерно в 20 % случаев к общему числу ОМИ. Наиболее часто является следствием вазоконстрикции верхней брыжеечной артерии (ВБА), связанной с низким спланхическим кровотоком (органов брюшной полости). Скомпрометированный кровоток в ВБА влияет также на проксимальный отдел толстой кишки из-за вовлечения в патологический процесс *a. ileocolica*.

Пациенты с ОНМИ, как правило, страдают тяжелыми сопутствующими заболеваниями, прежде всего сердечной недостаточностью, которая может быть спровоцирована сепсисом. Также частыми причинами являются

гиповолемия и использование сосудосуживающих препаратов.

В целом распространенность ОМИ изменилась за последние десятилетия. Среди пациентов с острым животом данная патология может варьировать от 17,7% при экстренной лапаротомии до 31,0% при лапаротомии у пожилых пациентов без травм [27]. ОНМИ составляет 25% всех случаев ОМИ [16], которая также увеличивается по сравнению с исторической когортой из-за увеличения числа пациентов в критическом состоянии и общего улучшения интенсивной терапии. Хотя патогенетические механизмы развития ОНМИ точно не известны, такие состояния, как сердечная, почечная недостаточности, операции на сердце с использованием искусственного кровообращения и применения катехоламинов, считаются факторами риска [18].

Заболеваемость ОМИ экспоненциально увеличивается с возрастом, у лиц 75 лет и старше данное заболевание является более распространенной причиной острого живота, чем острый аппендицит [28]. Частота ОМИ у 80-летних людей примерно в 10 раз выше, чем у 60-летних [29].

Синдром абдоминального компартмент-синдрома с очень высоким внутрибрюшным давлением может вызвать ишемию кишечника, которая осложняется ишемически-реперфузионным повреждением при выполнении декомпрессивной лапаротомии [30].

Эпидемиологический профиль ОНМИ изменился: сегодня это не только осложнение застойной сердечной недостаточности, но и частый спутник полиорганной недостаточности у пациентов реанимационных отделений, а также новое, все чаще выявляемое осложнение COVID-19, связанное с эндотелиитом и гиперкоагуляцией [31].

В диагностике ОНМИ, как и ОМИ, тщательный сбор анамнеза крайне важен, поскольку различные клинические варианты связаны с патофизиологической формой нарушений мезентериального кровообращения [32]. У пациентов с ОНМИ боли в животе обычно диффузные и эпизодические и связаны с нарушением сердечного ритма. Сильная боль в животе, несопоставимая с результатами физикального обследования, должна рассматриваться как ОМИ до тех пор, пока не будет опровергнуто это предположение. Необходимо подчеркнуть, что ключом к ранней диагностике является высокий уровень клинической настороженности. Пациенты с ОНМИ, чаще всего имеют в анамнезе сердечную недостаточность или недавно перенесенную операцию. В литературе есть сообщения о гемодиализе как о факторе риска развития ОНМИ [33, 34]. Кроме того, ОНМИ может проявляться в виде вторичного ухудшения состояния при септическом шоке, особенно у пациентов с сепсисом, получающих высокие дозы вазоактивных препаратов.

Рутинные лабораторные тесты обладают низкой специфичностью. Лейкоцитоз и метаболический ацидоз отражают тяжесть системного воспаления и гипоперфузии, но не позволяют локализовать ее источник [35, 36]. Уровень лактата в крови, долгое время считавшийся суррогатным маркером ишемии, является поздним

признаком, свидетельствующим скорее о необратимом некрозе, и может быть повышен вследствие иных причин (например, мышечной гипоперфузии, печеночной дисфункции) [37]. Его динамика в процессе реанимационных мероприятий более информативна, чем разовое измерение.

Данные современной литературы свидетельствуют об отсутствии точных биомаркеров для диагностики острого нарушения мезентериального кровообращения [38, 39]. Наиболее перспективным из доступных маркеров представляется D-димер, отражающий процессы тромбообразования и фибринолиза в зоне ишемии. Его нормальный уровень (<0,9 мг/л) с высокой вероятностью позволяет исключить ОМИ/ОНМИ, в то время как значительное повышение служит весомым аргументом в пользу диагноза, особенно в сочетании с клинической картиной [40]. Однако его чувствительность и специфичность недостаточны для самостоятельной диагностики. Таким образом, определение D-димеров полезно при ранней диагностике ОМИ, ОНМИ. Повышение уровня амилазы крови было зарегистрировано примерно у половины пациентов с ОМИ [41], это важно учитывать, поскольку пациенту может быть ошибочно поставлен диагноз острого панкреатита и задержка выполнения критических вмешательств может повлиять на результаты выживаемости.

Значение обычной рентгенографии живота в диагностике мезентериальной ишемии ограничено, особенно на ранней стадии, она может быть информативной только при наличии инфаркта кишечника или его перфорации и проявляется наличием свободного воздуха в брюшной полости.

В литературе есть сообщения о других биомаркерах, которые использовались в диагностике ОМИ, — это кишечный белок, связывающий жирные кислоты (I-FABP), сывороточная альфа-глутатион-S-трансфераза (альфа-GST) и анализ связывания кобальт-альбумина (САВА) [42, 43]. Перспективные биомаркеры (I-FABP, цитруллин, альфа-GST) пока не вышли за рамки исследовательских протоколов. Крупные исследования демонстрируют, что ни один из них не обладает достаточной способностью для надежного подтверждения или исключения диагноза на ранней, обратимой стадии [44]. Их роль может заключаться в мониторинге эффективности терапии, но не в первичной диагностике. При этом в других исследованиях были получены противоположные результаты [43, 45], что может быть объяснено систематической ошибкой отбора (были включены подтвержденные тяжелые случаи ОМИ), что привело к завышенной оценке эффективности изучаемых биомаркеров.

Мультидетекторная КТ-ангиография (МСКТ-А) утвердилась как безальтернативный метод первой линии при подозрении на ОМИ/ОНМИ. Ее диагностическая точность превышает 95% [46, 47]. При ОНМИ КТА позволяет не только исключить окклюзию магистральных стволов, но и выявить косвенные признаки ишемии:

- пневматоз кишечника — специфичный, но поздний признак трансмурального некроза;
- пристеночный отек, утолщение стенки кишки, снижение ее контрастирования;

- свободная жидкость в брюшной полости неясного генеза;
- газ в системе воротной вены — грозный признак далеко зашедшего процесса.

По другим данным, чувствительность КТА при ОМИ составила 93 %, специфичность 100 %, положительные и отрицательные прогностические значения — 100 и 94 % соответственно [48, 49]. Шесть рентгенологических признаков (дилатация петли кишечника, пневматоз кишечника, тромбоз верхней брыжеечной вены (ВВВ), свободная внутрибрюшинная жидкость, тромбоз воротной и селезеночной вен) являются предикторами некроза кишечника [50]. При ОНМИ КТА может показать ишемию кишечника и свободную жидкость при неокклюзированных мезентериальных сосудах. КТ позволяет контролировать перистальтику кишечника или количество свободной перитонеальной жидкости, особенно при ОНМИ. КТ-ангиографию рекомендуется проводить безотлагательно всем больным с подозрением на острую мезентериальную ишемию [49].

Задержка в диагностике является доминирующим фактором высоких показателей летальности — 30–70 %, несмотря на расширение знаний об этом заболевании [51, 52]. Важно подчеркнуть, что временной фактор критичен. Каждые 6 часов задержки с выполнением КТА статистически удваивают летальность [51]. Поэтому алгоритм действий при подозрении на ОНМИ должен быть максимально агрессивным и включать немедленное направление на КТА при минимальном наборе клинических или лабораторных признаков.

При прогрессировании ОМИ результаты КТА отражают необратимую ишемию (расширение и утолщение стенки кишечника, уменьшение или отсутствие висцерального контраста, пневматоз кишечника, газ в воротной вене, особенно их сочетание) и свободный газ в брюшной полости [53].

Клиническая диагностика ОНМИ остается областью перманентных трудностей. Классическая триада «боль, несоответствие данным осмотра» часто отсутствует у интубированных, седированных пациентов ОРИТ, у которых патология манифестирует необъяснимой гиперлактатемией, вздутием живота, повышенной потребностью в вазопрессорной поддержке или кишечным парезом [54, 55]. Таким образом, ключевым элементом диагностики является не специфический симптом, а высокая степень настороженности у врача в отношении пациентов из групп риска.

У пациентов, переживших сердечно-легочную реанимацию, у которых развилась бактериемия и диарея, следует заподозрить ОНМИ независимо от наличия или отсутствия болей в животе. Боли в правой половине живота, ассоциированные с выделением бордовой или ярко-красной крови в стуле, в высокой степени указывают на наличие ОНМИ. Желудочно-кишечная перфузия часто нарушается на ранних стадиях критических заболеваний, обширных хирургических вмешательств или травм, которые характеризуются повышенными требованиями к кровообращению для поддержания доставки кислорода к тканям [56]. Большинство симптомов, перечисленных выше, часто клинически

не проявляются у больных в критическом состоянии и у пациентов, находящихся на искусственной вентиляции легких. Поэтому любые негативные изменения в физиологии пациента, включая новое начало органной недостаточности, усиление вазоактивной поддержки и непереносимость питания, должны вызывать подозрение на ОНМИ. Экспериментальные и клинические исследования показывают, что использование вазопрессоров, таких как норадреналин и адреналин, может привести к нарушению перфузии слизистой оболочки [57, 58].

Другие фармакологические препараты, такие как вазопрессин, дигоксин [59], а также острая глубокая гиповолемия также могут усугубить ишемию. Спорной остается роль энтерального зондового питания у больных в критическом состоянии в развитии ишемии кишечника. В целом энтеральное и парентеральное питания дополняют друг друга для компенсацииточной потребности пациента в калориях, но в группе энтерального питания была отмечена более высокая частота ишемии кишечника при оценке уровня перфузии постоянным мониторингом уровня лактата сыворотки крови [60].

Лечебная тактика

Назначение антибиотиков широкого спектра обязательно из-за высокого риска бактериальной транслокации через ишемизированную стенку кишки [61]. Кишечная ишемия приводит к ранней потере функции слизистого барьера, что способствует транслокации бактерий и риску септических осложнений. Антибиотикотерапия должна проводиться в течение не менее 4 дней иммунокомпетентным стабильным пациентам с рассмотрением возможности увеличения продолжительности терапии при наличии признаков продолжающейся инфекции [62].

Пациентам с явной клиникой перитонита следует срочно провести лапароскопию/лапаротомию. При установлении диагноза ОМИ рекомендуется немедленно начать инфузионную терапию для усиления висцеральной перфузии, устранения электролитных нарушений и начать назогастральную декомпрессию. Когда имеются клинические данные, указывающие на острую внутрибрюшную катастрофу, при наступлении инфаркта кишечника, шансы на выживание этих пациентов с тяжелыми сопутствующими заболеваниями резко снижаются. Перитонит, вторичный по отношению к некрозу кишечника, требует экстренного хирургического вмешательства. Предоперационная интенсивная терапия важна для предупреждения сердечно-сосудистого коллапса при индукции анестезии, для проведения эффективных реанимационных мероприятий необходимо проводить ранний гемодинамический мониторинг [63]. Важна оценка уровня электролитов и кислотно-щелочного состояния, что особенно критично для пациентов с ОМИ, у которых тяжелый метаболический ацидоз и гиперкалиемия могут быть результатом инфаркта кишечника и реперфузии [64].

Первичная интенсивная терапия является краеугольным камнем и должна быть начата немедленно при

постановке предварительного диагноза. Оптимизация гемодинамики для восстановления адекватной спланхической перфузии без гипергидратации. Предпочтение отдается кристаллоидам, вазопрессорам с минимальным вазоконстрикторным эффектом на мезентериальные сосуды (добутамин, низкие дозы допамина) [65]. Потребность в инфузии жидкости у этих пациентов может быть высокой из-за обширной капиллярной утечки, но инфузию большого объема кристаллоидов следует использовать с осторожностью для улучшения перфузии кишечника [66].

Хирургическое лечение

Цели при оперативном лечении больных с острой мезентериальной ишемией направлены на: 1) восстановление кровоснабжения ишемизированной кишки; 2) резекцию всех нежизнеспособных участков; 3) сохранение всех жизнеспособных участков кишечника.

Жизнеспособность кишечника — наиболее важный фактор, влияющий на исход у пациентов с ОМИ. Нежизнеспособные участки кишечника при их оставлении приводят к полисистемной дисфункции органов и, в конечном счете, к смерти. Экстренная лапаротомия позволяет визуально оценить жизнеспособность кишечника. После предоперационной интенсивной подготовки выполняют срединную лапаротомию с оценкой состояния всех отделов кишечника и принятием решения о резекции всех явно некротизированных участков. Когда есть диагностическая неопределенность, ангиография является исследованием выбора, ее можно провести интраоперационно, особенно в гибридных комплексах. Интраоперационная дуплексная диагностика — простой, воспроизводимый и часто окончательно альтернативный диагностический метод. Четкое документирование длины кишечника имеет важное значение для каждой операции.

Помимо классической визуальной оценки (цвет, перистальтика, пульсация сосудов брыжейки), обязательным стандартом становится использование флуоресцентной ангиографии с индоцианиновым зеленым (ICG), которая объективно показывает перфузию на тканевом уровне и позволяет максимально сохранить длину кишки [67–69]. Ультразвуковая доплерография (УЗДГ) также является безопасным и неинвазивным методом исследования кровотока, популярна благодаря простоте и низкой стоимости. Индоцианиновый зеленый представляет собой флуорофор ближнего инфракрасного (NIR) спектра с пиком излучения 832 нм в цельной крови [69].

Реваскуляризация при наличии показаний, включая временной фактор, играет важнейшую роль при лечении ОМИ. Из 104 пациентов, не подвергшихся реваскуляризации, 64 (62%) умерли в течение 30 дней по сравнению с 36 из 85 (42%) пациентов, которым была выполнена реваскуляризация ($p = 0,01$) [70].

Необходимо отметить, что при ОНМИ, как и при мезентериальном венозном тромбозе, обычно не требуется реваскуляризация сосудов. Полная доза антикоагулянтов должна быть применена у пациентов при планировании хирургического вмешательства.

Нефракционированный гепарин эффективен и прост в применении, особенно у пациентов с острой почечной недостаточностью. В условиях, когда неинвазивные методы не дают однозначного ответа, а клиническое ухудшение продолжается, диагностическая лапароскопия становится жизненно важным инструментом. Ее ключевое преимущество — возможность выполнения непосредственно в условиях ОРИТ у крайне тяжелых, неперевожимых пациентов, что исключает риски транспортировки [71–73]. Визуальная оценка кишечника позволяет подтвердить или исключить ишемию, избежав напрасной лапаротомии почти в половине случаев [71]. Современные технологии, такие как флуоресцентная ангиография с ICG, используемые интраоперационно, позволяют с высокой точностью оценить перфузию тканей и определить границы жизнеспособной кишки [69]. В последние годы опубликованы результаты исследований и метаанализы эндоваскулярных вмешательств, в том числе в сравнении с хирургическими вмешательствами [9, 10, 13, 74–76]. Все исследования показали преимущества эндоваскулярных методов по сравнению с открытой хирургией, что выразилось в более низкой частоте резекции кишечника и 30-дневной летальности.

Системная тромболитическая терапия редко показана, когда клинические признаки требуют хирургического вмешательства, следует резецировать только явно некротизированные участки кишки, как правило, с использованием тактики damage control surgery (DCS), так как антикоагулянтная терапия может улучшить клиническую картину болезни в течение последующих 24–48 часов. Нефракционированный гепарин вводится для профилактики тромботических осложнений и потенциального улучшения микроциркуляции [77].

Damage Control Surgery является единственно верной стратегией для нестабильных пациентов с полиорганной дисфункцией. Ее цели ограничены: подтверждение диагноза, резекция явно нежизнеспособных отрезков кишки, временное закрытие брюшной полости и скорейший возврат пациента в ОРИТ для продолжения интенсивной терапии. Попытка выполнить одномоментную объемную реконструкцию у такого пациента фатальна [78–80].

При подозрении на ОНМИ основное внимание уделяется устранению основной причины и улучшению мезентериальной перфузии, инфарктная кишка подвергается резекции. Центральным принципом лечения ОНМИ является лечение основной провоцирующей причины, причем важными первичными мерами остаются инфузионная терапия, оптимизация сердечного выброса, отмена вазопрессоров. Дополнительное лечение может включать системную антикоагулянтную терапию (гепарин), инфузию сосудорасширяющих и спазмолитических средств, чаще всего папаверина гидрохлорида [81].

Решение о хирургическом вмешательстве основывается на наличии перитонита, перфорации или общем ухудшении состояния больного [64]. При наличии у пациента перитонеальных симптомов требуется диагностическая лапаротомия для резекции явно

некротизированной кишки. Часто эти больные находятся в критическом состоянии, а летальность остается очень высокой (50–85 %) [7]. DCS является важным дополнением, учитывая критическое состояние этих пациентов. Несмотря на дискуссионность, ряд исследований и клинических руководств поддерживают использование интраартериальной инфузии папаверина или системного введения простагландина E1 (алпростадил) для купирования спазма мезентериальных артериол [82–85]. Инфузия папаверина в ВБА снижала летальность при ОНМИ [85]. В другом исследовании показано, что раннее лечение простагландином E1 при непрерывном внутривенном введении (PGE1) снижает летальность у пациентов с ОНМИ [24]. Масштабное японское исследование продемонстрировало снижение летальности на фоне такой терапии [86]. Лечение ОМИ оптимально в специализированном центре с использованием специализированного пакета услуг и мультидисциплинарной команды, такие «центры кишечного инсульта» улучшают исходы [87, 88].

Увеличение показателей выживаемости может быть достигнуто, если мезентериальная ишемия диагностирована и лечится на ранней стадии. Цель междисциплинарного подхода состоит в том, чтобы максимально сократить время до реперфузии.

В случае распространенного некроза кишечника необходимы тщательная оценка состояния пациентов, сопутствующих заболеваний и рекомендаций для оптимальной терапевтической стратегии, включая паллиативную помощь. В случаях обширного инфаркта большей части тонкой кишки с частью толстой кишки хирург может столкнуться с этическим решением о целесообразности выполнения обширной резекции, что может привести к синдрому короткой кишки с серьезными последствиями. Хирургические вмешательства могут быть не лучшим решением, особенно у пожилых, ослабленных больных, которые не смогут перенести длительное парентеральное питание. Поэтому предоперационное обсуждение с пациентом и его семьей имеет важное значение для принятия клинических решений [89].

Послеоперационное ведение и прогноз

Выживаемость после перенесенной ОНМИ остается низкой, и выписанные пациенты требуют пожизненного наблюдения. Пожизненная антикоагулянтная терапия является стандартом для вторичной профилактики. Необходим регулярный дуплексный УЗИ-контроль мезентериальных сосудов (через 1, 6, 12 месяцев, далее ежегодно) [90]. Агрессивное управление сердечно-сосудистыми факторами риска: коррекция гиперлипидемии, артериальной гипертензии, диабета. Пациентам с обширными резекциями может потребоваться пожизненное парентеральное питание или реабилитация в специализированных центрах.

Ключевым прогностическим фактором, помимо объема некроза, является исходная тяжесть состояния пациента, оцениваемая по шкалам SOFA или APACHE II. Низкие баллы по шкале SOFA (≤ 3) ассоциированы с существенно лучшими шансами на выживание [26].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Острая неокклюзионная мезентериальная ишемия продолжает оставаться одной из наиболее тяжелых и прогностически неблагоприятных патологий в абдоминальной хирургии и реаниматологии, сохраняя катастрофически высокий уровень летальности, достигающий 80 %. Столь высокая смертность обусловлена комплексом факторов: трудностью ранней диагностики из-за неспецифичности клинической картины, особенно у пациентов отделений реанимации и интенсивной терапии, находящихся на ИВЛ и седации; быстрым прогрессированием от ишемии слизистой до тотального трансмурального некроза; а также крайней тяжестью фонового состояния пациентов, как правило, имеющих полиорганную недостаточность, септический шок или недавно перенесших кардиохирургические вмешательства.

Ключевым направлением в улучшении исходов ОНМИ является формирование высочайшего уровня клинической настороженности у врачей, работающих с группами риска. Современная диагностическая парадигма смещается в сторону агрессивного использования мультиспиральной компьютерно-томографической ангиографии (МСКТ-А) при малейшем подозрении на ишемию, так как временной фактор является решающим — каждая шестичасовая задержка с визуализацией удваивает вероятность летального исхода. В ситуациях, когда неинвазивные методы не дают однозначного ответа, а состояние пациента прогрессивно ухудшается, жизненно важную роль играет своевременное применение диагностической лапароскопии, в том числе и в условиях ОРИТ, что позволяет избежать рисков транспортировки нестабильного больного и верифицировать диагноз.

Лечение ОНМИ требует комплексного мультидисциплинарного подхода, основанного на быстрой коррекции системной гемодинамики и устранении провоцирующих факторов (снижение доз вазопрессоров, оптимизация сердечного выброса), незамедлительном начале антикоагулянтной и антибиотикотерапии, а при наличии признаков перитонита — безотлагательном хирургическом вмешательстве по принципам damage control surgery с максимальным сохранением длины кишки и использованием интраоперационной флуоресцентной ангиографии. Перспективы снижения летальности связаны не только с внедрением новых диагностических технологий, но и с организационной перестройкой — созданием специализированных «центров кишечного инсульта», где слаженная работа команды хирургов, реаниматологов, рентгенологов и эндоваскулярных хирургов позволяет стандартизировать протоколы и минимизировать все временные задержки, что в конечном итоге может изменить неблагоприятный прогноз при этой катастрофической патологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лисин С.В., Прямыков А.Д., Дубровский А.В. Острая окклюзия верхней брыжеечной артерии — состояние проблемы в многопрофильном стационаре. В кн. Научные исследования в реализации программы «Здоровое население России» Материалы 3-го международного хирургического конгресса. М.; 2008. С. 174.

- 2 Bala M., Kashuk J., Moore E.E., Kluger Y., Biffi W., Gomes C.A., et al. Acute mesenteric ischemia: guidelines of the World Society of Emergency Surgery. *World J Emerg Surg.* 2017;12:38. DOI: 10.1186/s13017-017-0150-5
- 3 Horton K.M., Fishman E.K. Multidetector CT angiography in the diagnosis of mesenteric ischemia. *Radiol Clin North Am.* 2007;45(2):275–88. DOI: 10.1016/j.rcl.2007.03.010
- 4 Schoots I.G., Koffeman G.I., Legemate D.A., Levi M., van Gulik T.M. Systematic review of survival after acute mesenteric ischaemia according to disease aetiology. *Br J Surg.* 2004;91(1):17–27. DOI: 10.1002/bjs.4459
- 5 Beaulieu R.J., Arnaoutakis K.D., Abularrage C.J., Efron D.T., Schneider E., Black J.H. 3rd. Comparison of open and endovascular treatment of acute mesenteric ischemia. *J Vasc Surg.* 2014;59(1):159–64. DOI: 10.1016/j.jvs.2013.06.084
- 6 Хрипун А.И., Миронков А.Б., Прямыков А.Д., Тюрин И.Н., Алимов А.Н., Агасян Г.А. Эндоваскулярное лечение пациентов с тромбозом верхней брыжеечной артерии. *Вестник хирургии им. И.И. Грекова.* 2019;178(6):36–40. DOI: 10.24884/0042-4625-2019-178-6-36-40
- 7 Хрипун А.И., Миронков А.Б., Прямыков А.Д., Тюрин И.Н., Абашин М.В., Алимов А.Н. и др. Эндоваскулярная хирургия острого артериального нарушения кровообращения: подходы к лечению. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова.* 2020;3:61–6. DOI: 10.17116/hirurgia202003166
- 8 Naazar A.A., Omair A., Chu S.H., Keane K.G., Weber D.G. A shifting trend towards endovascular intervention in the treatment of acute mesenteric ischemia. *Cureus.* 2021;13(10):ee18544. DOI: 10.7759/cureus.18544
- 9 Acosta-Mérida M.A., Marchena-Gómez J., Saavedra-Santana P., Silvestre-Rodríguez J., Artiles-Armas M., Callejón-Cara M.M. Surgical outcomes in acute mesenteric ischemia: has anything changed over the years? *World J Surg.* 2020;44(1):100–7. DOI: 10.1007/s00268-019-05183-9
- 10 Arthurs Z.M., Titus J., Bannazadeh M., Eagleton M.J., Srivastava S., Sarac T.P., et al. A comparison of endovascular revascularization with traditional therapy for the treatment of acute mesenteric ischemia. *J Vasc Surg.* 2011;53(3):698–705. DOI: 10.1016/j.jvs.2010.09.049
- 11 Bomberg H., Stroeder J., Karrenbauer K., Groesdonk H.V., Wagenpfeil S., Klingele M., et al. Establishment of predictive models for nonocclusive mesenteric ischemia comparing 8,296 control with 452 study patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2019;33(5):1290–7. DOI: 10.1053/j.jvca.2018.08.194
- 12 Björck M., Koelemay M., Acosta S., Bastos Goncalves F., Kölbl T., Kolkman J.J., et al. Editor's choice — management of the diseases of mesenteric arteries and veins: clinical practice guidelines of the European Society of Vascular Surgery (ESVS). *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2017;53(4):460–510. DOI: 10.1016/j.ejvs.2017.01.010
- 13 Al-Diery H., Phillips A., Evannett N., Pandanaboyana S., Gilham M., Windsor J.A. The pathogenesis of nonocclusive mesenteric ischemia: implications for research and clinical practice. *J Intensive Care Med.* 2019;34(10):771–81. DOI: 10.1177/0885066618788827
- 14 Howard T.J., Plaskon L.A., Wiebke E.A., Wilcox M.G., Madura J.A. Nonocclusive mesenteric ischemia remains a diagnostic dilemma. *Am J Surg.* 1996;171(4):405–8. DOI: 10.1016/S0002-9610(97)89620-2
- 15 Duran M., Pohl E., Grabitz K., Schelzig H., Sagban T.A., Simon F. The importance of open emergency surgery in the treatment of acute mesenteric ischemia. *World J Emerg Surg.* 2015;10:45. DOI: 10.1186/s13017-015-0039-0
- 16 Clair D.G., Beach J.M. Mesenteric Ischemia. *New Engl J Med.* 2016;374:959–68. DOI: 10.1056/NEJMra1503884
- 17 Trompeter M., Brazda T., Remy C.T., Vestring T., Reimer P. Non-occlusive mesenteric ischemia: etiology, diagnosis, and interventional therapy. *Eur Radiol.* 2002;12:1179–87. DOI: 10.1007/s00330-001-1220-2
- 18 Sakamoto T., Fujiogi M., Matsui H., Fushimi K., Yasunaga H. Clinical features and outcomes of nonocclusive mesenteric ischemia after cardiac surgery: a retrospective cohort study. *Heart Vessels.* 2020;35:630–6. DOI: 10.1007/s00380-019-01531-w
- 19 Sato H., Nakamura M., Uzuka T., Kondo M. Detection of patients at high risk for nonocclusive mesenteric ischemia after cardiovascular surgery. *J Cardiothorac Surg.* 2018;13(1):115. DOI: 10.1186/s13019-018-0807-5
- 20 Suzuki S., Kondo H., Furukawa A., Kawai K., Yukaya T., Shimazui T., et al. Prognostic factors of preoperative examinations for non-occlusive mesenteric ischemia: a multicenter retrospective project study conducted by the Japanese society for abdominal emergency medicine. *World J Surg.* 2020;44:3687–94. DOI: 10.1007/s00268-020-05678-w
- 21 Yukaya T., Saeki H., Taketani K., Ando K., Ida S., Kimura Y., et al. Clinical outcomes and prognostic factors after surgery for non-occlusive mesenteric ischemia: a multicenter study. *J Gastrointest Surg.* 2014;18:1642–7. DOI: 10.1007/s11605-014-2579-0
- 22 Desborough J.P. The stress response to trauma and surgery. *Br J Anaesth.* 2000;85:109–17. DOI: 10.1093/bja/85.1.109
- 23 Gelman S., Mushlin P.S. Catecholamine-induced changes in the splanchnic circulation affecting systemic hemodynamics. *Anesthesiology.* 2004;100:434–9. DOI: 10.1097/00000542-200402000-00036
- 24 Mitsuyoshi A., Obama K., Shinkura N., Ito T., Zaima M. Survival in nonocclusive mesenteric ischemia: early diagnosis by multidetector row computed tomography and early treatment with continuous intravenous high-dose prostaglandin E1. *Ann Surg.* 2007;246(2):229–35. DOI: 10.1097/01.sla.0000263157.59422.76
- 25 Perez-García C., de Miguel Campos E., Fernandez Gonzalo A., Mal-faz C., Martin Pinacho J.J., Fernandez Alvarez C., et al. Non-occlusive mesenteric ischaemia: CT findings, clinical outcomes and assessment of the diameter of the superior mesenteric artery. *Br J Radiol.* 2018;91(1081):20170492. DOI: 10.1259/bjr.20170492
- 26 Toda Y., Komatsu S., Fukami Y., Saito T., Matsumura T., Osawa T., et al. Prognostic factors for the successful conservative management of nonocclusive mesenteric ischemia. *World J Emerg Surg.* 2022;17(1):32. DOI: 10.1186/s13017-022-00436-w
- 27 Khan A., Hsee L., Mathur S., Civil I. Damage-control laparotomy in nontrauma patients: review of indications and outcomes. *J Trauma Acute Care Surg.* 2013;75(3):365–8. DOI: 10.1097/TA.0b013e31829cb65e
- 28 Kärkkäinen J.M., Acosta S. Acute mesenteric ischemia (part I) — Incidence, etiologies, and how to improve early diagnosis. *Best Pract Res Clin Gastroenterol.* 2017;31(1):15–25. DOI: 10.1016/j.bpg.2016.10.018
- 29 Nuzzo A., Maggiori L., Ronot M., Becq A., Plessier A., Gault N., et al. Predictive factors of intestinal necrosis in acute mesenteric ischemia: prospective study from an intestinal stroke center. *Am J Gastroenterol.* 2017;112(4):597–605. DOI: 10.1038/ajg.2017.38
- 30 Lodigiani C., Iapichino G., Carenzo L., Cecconi M., Ferrazzi P., Sebastian T., et al. Venous and arterial thromboembolic complications in COVID-19 patients admitted to an academic hospital in Milan, Italy. *Thromb Res.* 2020;191:9–14. DOI: 10.1016/j.thromres.2020.04.024
- 31 Cattaneo M., Bertinato E.M., Biocchi S., Brizio C., Malavolta D., Manzoni M., et al. Pulmonary embolism or pulmonary thrombosis in COVID-19? Is the recommendation to use high-dose heparin for thromboprophylaxis justified? *Thromb Haemost.* 2020;120(8):1230–2. DOI: 10.1055/s-0040-1712097
- 32 Endean E.D., Barnes S.L., Kwolek C.J., Minion D.J., Schwarcz T.H., Mentzer R.M. Jr. Surgical management of thrombotic acute intestinal ischemia. *Ann Surg.* 2001;233(6):801–8. DOI: 10.1097/0000658-200106000-00010
- 33 Zeier M., Wiesel M., Rambauek M., Ritz E. Non-occlusive mesenteric infarction in dialysis patients: the importance of prevention and early intervention. *Nephrol Dial Transplant.* 1995;10(6):771–3. PMID: 7566602
- 34 Zielinski M.D., Eiken P.W. The science of mesenteric ischemia: a primer for the gastroenterologist. *Clin Gastroenterol Hepatol.* 2021;19(11):2249–51. DOI: 10.1016/j.cgh.2021.06.045
- 35 Kougiyas P., Lau D., El Sayed H.F., Zhou W., Huynh T.T., Lin P.H. Determinants of mortality and treatment outcome following surgical interventions for acute mesenteric ischemia. *J Vasc Surg.* 2007;46(3):467–74. DOI: 10.1016/j.jvs.2007.04.045
- 36 Nuzzo A., Maggiori L., Ronot M., Becq A., Plessier A., Gault N., et al. Predictive factors of intestinal necrosis in acute mesenteric ischemia: prospective study from an intestinal stroke center. *Am J Gastroenterol.* 2017;112:597–605. DOI: 10.1038/ajg.2017.38
- 37 Evannett N.J., Petrov M.S., Mittal A., Windsor J.A. Systematic review and pooled estimates for the diagnostic accuracy of serological markers for intestinal ischemia. *World J Surg.* 2009;33(7):1374–83. DOI: 10.1007/s00268-009-0074-7
- 38 Powell A., Armstrong P. Plasma biomarkers for early diagnosis of acute intestinal ischemia. *Semin Vasc Surg.* 2014;27(3–4):170–5. DOI: 10.1053/j.semvascsurg.2015.01.008
- 39 Block T., Nilsson T.K., Björck M., Acosta S. Diagnostic accuracy of plasma biomarkers for intestinal ischaemia. *Scand J Clin Lab Invest.* 2008;68(3):242–8. DOI: 10.1080/00365510701646264
- 40 Wilson C., Imrie C.W. Amylase and gut infarction. *Br J Surg.* 1986;73(3):219–21. DOI: 10.1002/bjs.1800730322
- 41 Matsumoto S., Sekine K., Funaoka H., Yamazaki M., Shimizu M., Hayashida K., et al. Diagnostic performance of plasma biomarkers in patients with acute intestinal ischaemia. *Br J Surg.* 2014;101(3):232–8. DOI: 10.1002/bjs.9331

- 42 Treskes N., Persoon A.M., van Zanten A.R.H. Diagnostic accuracy of novel serological biomarkers to detect acute mesenteric ischemia: a systematic review and meta-analysis. *Intern Emerg Med.* 2017;12(6):821–36. DOI: 10.1007/s11739-017-1668-y
- 43 Nuzzo A., Guedj K., Curac S., Hercend C., Bendavid C., Gault N., et al. Accuracy of ctirulline, I-FABP and D-lactate in the diagnosis of acute mesenteric ischemia. *Sci Rep.* 2021;11(1):18929. DOI: 10.1038/s41598-021-98012-w
- 44 Peoc'h K., Nuzzo A., Guedj K., Paugam C., Corcos O. Diagnosis biomarkers in acute intestinal ischemic injury: so close, yet so far. *Clin Chem Lab Med.* 2018;56(3):373–85. DOI: 10.1515/cclm-2017-0291
- 45 Aschoff A.J., Stuber G., Becker B.W., Hoffmann M.H., Schmitz B.L., Schelzig H., et al. Evaluation of acute mesenteric ischemia: accuracy of biphasic mesenteric multi-detector CT angiography. *Abdom Imaging.* 2009;34(3):345–57. DOI: 10.1007/s00261-008-9392-8
- 46 Menke J. Diagnostic accuracy of multidetector CT in acute mesenteric ischemia: systematic review and meta-analysis. *Radiology.* 2010;256(1):93–101. DOI: 10.1148/radiol.10091938
- 47 Hagspiel K.D., Flors L., Hanley M., Norton P.T. Computed tomography angiography and magnetic resonance angiography imaging of the mesenteric vasculature. *Tech Vasc Interv Radiol.* 2015;18(1):2–13. DOI: 10.1053/j.tvir.2014.12.002
- 48 Ginsburg M., Obara P., Lambert D.L., Hanley M., Steigner M.L., Camacho M.A., et al. ACR Appropriateness Criteria® Imaging of mesenteric ischemia. *J Am Coll Radiol.* 2018;15(11S):S332–40. DOI: 10.1016/j.jacr.2018.09.018
- 49 Emile S.H., Khan S.M., Barsoum S.H. Predictors of bowel necrosis in patients with acute mesenteric ischemia: systematic review and meta-analysis. *Updates Surg.* 2021;73:47–57. DOI: 10.1007/s13304-020-00952-x
- 50 Bradbury A.W., Brittenden J., McBride K., Ruckley C.V. Mesenteric ischaemia: a multidisciplinary approach. *Br J Surg.* 1995;82(11):1446–59. DOI: 10.1002/bjs.1800821105
- 51 Kassahun W.T., Schulz T., Richter O., Hauss J. Unchanged high mortality rates from acute occlusive intestinal ischemia: six year review. *Langenbecks Arch Surg.* 2008;393(2):163–71. DOI: 10.1007/s00423-007-0263-5
- 52 Kirkpatrick I.D., Kroeker M.A., Greenberg H.M. Biphasic CT with mesenteric CT angiography in the evaluation of acute mesenteric ischemia: initial experience. *Radiology.* 2003;229(1):91–8. DOI: 10.1148/radiol.2291020991
- 53 Daviaud F., Grimaldi D., Dechartres A., Charpentier J., Geri G., Marin N., et al. Timing and causes of death in septic shock. *Ann Intensive Care.* 2015;5(1):16. DOI: 10.1186/s13613-015-0058-8
- 54 Guillaume A., Pili-Floury S., Chocron S., Delabrousse E., De Parseval B., Koch S., et al. Acute mesenteric ischemia among post-cardiac surgery patients presenting with multiple organ failure. *Shock.* 2016;47:296–302. DOI: 10.1097/SHK.0000000000000712
- 55 Mastoraki A., Mastoraki S., Tziava E., Touloumi S., Krinos N., Danias N., et al. Mesenteric ischemia: Pathogenesis and challenging diagnostic and therapeutic modalities. *World J Gastrointest Pathophysiol.* 2016;7(1):125–30. DOI: 10.4291/wjgp.v7.i1.125
- 56 De Backer D., Creteur J., Silva E., Vincent J.L. Effects of dopamine, norepinephrine, and epinephrine on the splanchnic circulation in septic shock: which is best? *Crit Care Med.* 2003;31(6):1659–67. DOI: 10.1097/01.CCM.0000063045.77339.B6
- 57 Krychtiuk K.A., Richter B., Lenz M., Hohensinner P.J., Huber K., Hengstenberg C., et al. Epinephrine treatment but not time to ROSC is associated with intestinal injury in patients with cardiac arrest. *Resuscitation.* 2020;155:32–8. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2020.07.018
- 58 Bourcier S., Klug J., Nguyen L.S. Non-occlusive mesenteric ischemia: diagnostic challenges and perspectives in the era of artificial intelligence. *World J Gastroenterol.* 2021;27(26):4088–103. DOI: 10.3748/wjg.v27.i26.4088
- 59 Helmerhorst H.J., Schultz M.J., van der Voort P.H., de Jonge E., van Westerloo D.J. Bench-to-bedside review: the effects of hyperoxia during critical illness. *Crit Care.* 2015;19(1):284. DOI: 10.1186/s13054-015-0996-4
- 60 Sartelli M., Coccolini F., Kluger Y., Agastra E., Abu-Zidan F.M., Abbas A.E.S., et al. WSES/GAIS/SIS-E/WSIS/AAST global clinical pathways for patients with intra-abdominal infections. *World J Emerg Surg.* 2021;16(1):49. DOI: 10.1186/s13017-021-00387-8
- 61 Global Alliance for Infections in Surgery Working Group. A global declaration on appropriate use of antimicrobial agents across the surgical pathway. *Surg Infections.* 2017;18(8):846–53. DOI: 10.1089/sur.2017.078
- 62 Wyers M.C. Acute mesenteric ischemia: diagnostic approach and surgical treatment. *Semin Vasc Surg.* 2010;23(1):9–20. DOI: 10.1053/j.semvasc.2009.12.002
- 63 Corcos O., Nuzzo A. Gastro-intestinal vascular emergencies. *Best Pract Res Clin Gastroenterol.* 2013;27(5):709–25. DOI: 10.1016/j.bpg.2013.08.006
- 64 Sise M.J. Mesenteric ischemia: the whole spectrum. *Scand J Surg.* 2010;99(2):106–10. DOI: 10.1177/145749691009900212
- 65 Park W.M., Glowiczki P., Cherry K.J. Jr, Hallett J.W. Jr, Bower T.C., Panneton J.M., et al. Contemporary management of acute mesenteric ischemia: Factors associated with survival. *J Vasc Surg.* 2002;35(3):445–52. DOI: 10.1067/mva.2002.120373
- 66 Ballard J.L., Stone W.M., Hallett J.W., Pairolero P.C., Cherry K.J. A critical analysis of adjuvant techniques used to assess bowel viability in acute mesenteric ischemia. *Am Surg.* 1993;59(5):309–11. PMID: 8489100
- 67 Paral J., Ferko A., Plodr M., Raupach J., Hadzi-Nikolov D., Dolezal D., et al. Laparoscopic diagnostics of acute bowel ischemia using ultraviolet light and fluorescein dye: an experimental study. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech.* 2007;17(4):291–5. DOI: 10.1097/SLE.0b013e3180dc9376
- 68 McGinty J.J. Jr, Hogle N., Fowler D.L. Laparoscopic evaluation of intestinal ischemia using fluorescein and ultraviolet light in a porcine model. *Surg Endosc.* 2003;17(7):1140–3. DOI: 10.1007/s00464-001-8255-y
- 69 Wada T., Kawada K., Hoshino N., Inamoto S., Yoshitomi M., Hida K., et al. The effects of intraoperative ICG fluorescence angiography in laparoscopic low anterior resection: a propensity score-matched study. *Int J Clin Oncol.* 2019;24(4):394–402. DOI: 10.1007/s10147-018-1365-5
- 70 Chou E.L., Wang L.J., McLellan R.M., Feldman Z.M., Latz C.A., LaMuraglia G.M., et al. Evolution in the presentation, treatment, and outcomes of patients with acute mesenteric ischemia. *Ann Vasc Surg.* 2021;74:53–62. DOI: 10.1016/j.javsg.2021.01.116
- 71 Cocorullo G., Mirabella A., Falco N., Fontana T., Tutino R., Licari L., et al. An investigation of bedside laparoscopy in the ICU for cases of non-occlusive mesenteric ischemia. *World J Emerg Surg.* 2017;12:4. DOI: 10.1186/s13017-017-0118-5
- 72 Agresta F., Ansaloni L., Baiocchi G.L., Bergamini C., Campanile F.C., Carlucci M., et al. Laparoscopic approach to acute abdomen from the Consensus Development Conference of the Società Italiana di Chirurgia Endoscopica e nuove tecnologie (SICE), Associazione Chirurgi Ospedalieri Italiani (ACOI), Società Italiana di Chirurgia (SIC), Società Italiana di Chirurgia d'Urgenza e del Trauma (SICUT), Società Italiana di Chirurgia nell'Ospedalità Privata (SICOP), and the European Association for Endoscopic Surgery (EAES). *Surg Endosc.* 2012;26(8):2134–64. DOI: 10.1007/s00464-012-2331-3
- 73 Bergamini C., Alemanno G., Giordano A., Pantalone D., Fontani G., Di Bella A.M., et al. The role of bed-side laparoscopy in the management of acute mesenteric ischemia of recent onset in post-cardiac surgery patients admitted to ICU. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2022;48(1):87–96. DOI: 10.1007/s00068-020-01500-3
- 74 Schermerhorn M.L., Giles K.A., Hamdan A.D., Wyers M.C., Pomposelli F.B. Mesenteric revascularization: management and outcomes in the United States, 1988–2006. *J Vasc Surg.* 2009;50(2):341–8.e1. DOI: 10.1016/j.jvs.2009.03.004
- 75 Block T.A., Acosta S., Björck M. Endovascular and open surgery for acute occlusion of the superior mesenteric artery. *J Vasc Surg.* 2010;52(4):959–66. DOI: 10.1016/j.jvs.2010.05.084
- 76 Ryer E.J., Kalra M., Oderich G.S., Duncan A.A., Glowiczki P., Cha S., et al. Revascularization for acute mesenteric ischemia. *J Vasc Surg.* 2012;55(6):1682–9. DOI: 10.1016/j.jvs.2011.12.017
- 77 Al-Hilaly M.A., Abu-Zidan F.M. Mesenteric vein thrombosis: is it one disease? *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 1995;9(1):103–6. DOI: 10.1016/s1078-5884(05)80233-3
- 78 Stone H.H., Fabian T.C., Turkleson M.L., Jurkiewicz M.J. Management of acute full-thickness losses of the abdominal wall. *Ann Surg.* 1981;193(5):612–8. DOI: 10.1097/0000658-198105000-00011
- 79 Godat L., Kobayashi L., Costantini T., Coimbra R. Abdominal damage control surgery and reconstruction: world society of emergency surgery position paper. *World J Emerg Surg.* 2013;8(1):53. DOI: 10.1186/1749-7922-8-53
- 80 Weber D.G., Bendinelli C., Balogh Z.J. Damage control surgery for abdominal emergencies. *Br J Surg.* 2014;101(1):e109–18. DOI: 10.1002/bjs.9360
- 81 Meilahn J.E., Morris J.B., Ceppa E.P., Bulkley G.B. Effect of prolonged selective intramesenteric arterial vasodilator therapy on intestinal viability after acute segmental mesenteric vascular occlusion. *Ann Surg.* 2001;234(1):107–15. DOI: 10.1097/0000658-200107000-00016
- 82 American Gastroenterological Association Medical Position Statement: guidelines on intestinal ischemia. *Gastroenterology.* 2000;118(5):951–3. doi: 10.1016/s0016-5085(00)70182-x

- 83 2011 WRITING GROUP MEMBERS; 2005 WRITING COMMITTEE MEMBERS; ACCF/AHA TASK FORCE MEMBERS. 2011 ACCF/AHA Focused Update of the Guideline for the Management of patients with peripheral artery disease (Updating the 2005 Guideline): a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on practice guidelines. *Circulation*. 2011;124(18):2020–45. DOI: 10.1161/CIR.0b013e31822e80c3
- 84 Tilsed J.V., Casamassima A., Kurihara H., Mariani D., Martinez I., Pereira J., et al. ESTES guidelines: acute mesenteric ischaemia. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2016;42(2):253–70. DOI: 10.1007/s00068-016-0634-0
- 85 Klotz S., Vestring T., Rötger J., Schmidt C., Scheld H.H., Schmid C. Diagnosis and treatment of nonocclusive mesenteric ischemia after open heart surgery. *Ann Thorac Surg*. 2001;72(5):1583–6. DOI: 10.1016/S0003-4975(01)03179-4
- 86 Takiguchi T., Nakajima M., Ohbe H., Sasabuchi Y., Matsui H., Fushimi K., et al. Vasodilator therapy and mortality in nonocclusive mesenteric ischemia: a nationwide observational study. *Crit Care Med*. 2020;48(5):e356–61. DOI: 10.1097/CCM.0000000000004255
- 87 Roussel A., Castier Y., Nuzzo A., Pellenc Q., Sibert A., Panis Y., et al. Revascularization of acute mesenteric ischemia after creation of a dedicated multidisciplinary center. *J Vasc Surg*. 2015;62(5):1251–6. DOI: 10.1016/j.jvs.2015.06.204
- 88 Reintam Blaser A., Acosta S., Arabi Y.M. A clinical approach to acute mesenteric ischemia. *Curr Opin Crit Care*. 2021;27(2):183–92. DOI: 10.1097/MCC.0000000000000802
- 89 Lilley E.J., Cooper Z., Schwarze M.L., Mosenthal A.C. Palliative care in surgery: defining the research priorities. *J Palliat Med*. 2017;20(7):702–9. DOI: 10.1089/jpm.2017.0079
- 90 Zierler R.E., Jordan W.D., Lal B.K., Mussa F., Leers S., Fulton J., et al. The Society for Vascular Surgery practice guidelines on follow-up after vascular surgery arterial procedures. *J Vasc Surg*. 2018;68(1):256–84. DOI: 10.1016/j.jvs.2018.04.018
- 11 Bomberg H., Stroeder J., Karrenbauer K., Groesdonk H.V., Wagenpfeil S., Klingele M., et al. Establishment of predictive models for nonocclusive mesenteric ischemia comparing 8,296 control with 452 study patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2019;33(5):1290–7. DOI: 10.1053/j.jvca.2018.08.194
- 12 Björck M., Koelemay M., Acosta S., Bastos Goncalves F., Kölbl T., Kolkman J.J., et al. Editor's choice — management of the diseases of mesenteric arteries and veins: clinical practice guidelines of the European Society of Vascular Surgery (ESVS). *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2017;53(4):460–510. DOI: 10.1016/j.ejvs.2017.01.010
- 13 Al-Diery H., Phillips A., Evennett N., Pandanaboyana S., Gilham M., Windsor J.A. The pathogenesis of nonocclusive mesenteric ischemia: implications for research and clinical practice. *J Intensive Care Med*. 2019;34(10):771–81. DOI: 10.1177/0885066618788827
- 14 Howard T.J., Plaskon L.A., Wiebke E.A., Wilcox M.G., Madura J.A. Nonocclusive mesenteric ischemia remains a diagnostic dilemma. *Am J Surg*. 1996;171(4):405–8. DOI: 10.1016/S0002-9610(97)89620-2
- 15 Duran M., Pohl E., Grabitz K., Schelzig H., Sagban T.A., Simon F. The importance of open emergency surgery in the treatment of acute mesenteric ischemia. *World J Emerg Surg*. 2015;10:45. DOI: 10.1186/s13017-015-0039-0
- 16 Clair D.G., Beach J.M. Mesenteric Ischemia. *New Engl J Med*. 2016;374:959–68. DOI: 10.1056/NEJMr1503884
- 17 Trompeter M., Brazda T., Remy C.T., Vestring T., Reimer P. Non-occlusive mesenteric ischemia: etiology, diagnosis, and interventional therapy. *Eur Radiol*. 2002;12:1179–87. DOI: 10.1007/s00330-001-1220-2
- 18 Sakamoto T., Fujiogi M., Matsui H., Fushimi K., Yasunaga H. Clinical features and outcomes of nonocclusive mesenteric ischemia after cardiac surgery: a retrospective cohort study. *Heart Vessels*. 2020;35:630–6. DOI: 10.1007/s00380-019-01531-w
- 19 Sato H., Nakamura M., Uzuka T., Kondo M. Detection of patients at high risk for nonocclusive mesenteric ischemia after cardiovascular surgery. *J Cardiothorac Surg*. 2018;13(1):115. DOI: 10.1186/s13019-018-0807-5
- 20 Suzuki S., Kondo H., Furukawa A., Kawai K., Yukaya T., Shimazui T., et al. Prognostic factors of preoperative examinations for non-occlusive mesenteric ischemia: a multicenter retrospective project study conducted by the Japanese society for abdominal emergency medicine. *World J Surg*. 2020;44:3687–94. DOI: 10.1007/s00268-020-05678-w
- 21 Yukaya T., Saeki H., Taketani K., Ando K., Ida S., Kimura Y., et al. Clinical outcomes and prognostic factors after surgery for non-occlusive mesenteric ischemia: a multicenter study. *J Gastrointest Surg*. 2014;18:1642–7. DOI: 10.1007/s11605-014-2579-0
- 22 Desborough J.P. The stress response to trauma and surgery. *Br J Anaesth*. 2000;85:109–17. DOI: 10.1093/bja/85.1.109
- 23 Gelman S., Mushlin P.S. Catecholamine-induced changes in the splanchnic circulation affecting systemic hemodynamics. *Anesthesiology*. 2004;100:434–9. DOI: 10.1097/0000542-200402000-00036
- 24 Mitsuyoshi A., Obama K., Shinkura N., Ito T., Zaima M. Survival in nonocclusive mesenteric ischemia: early diagnosis by multidetector row computed tomography and early treatment with continuous intravenous high-dose prostaglandin E1. *Ann Surg*. 2007;246(2):229–35. DOI: 10.1097/01.sla.0000263157.59422.76
- 25 Perez-Garcia C., de Miguel Campos E., Fernandez Gonzalo A., Malfaz C., Martin Pinacho J.J., Fernandez Alvarez C., et al. Non-occlusive mesenteric ischaemia: CT findings, clinical outcomes and assessment of the diameter of the superior mesenteric artery. *Br J Radiol*. 2018;91(1081):20170492. DOI: 10.1259/bjr.20170492
- 26 Toda Y., Komatsu S., Fukami Y., Saito T., Matsumura T., Osawa T., et al. Prognostic factors for the successful conservative management of nonocclusive mesenteric ischemia. *World J Emerg Surg*. 2022;17(1):32. DOI: 10.1186/s13017-022-00436-w
- 27 Khan A., Hsee L., Mathur S., Civil I. Damage-control laparotomy in nontrauma patients: review of indications and outcomes. *J Trauma Acute Care Surg*. 2013;75(3):365–8. DOI: 10.1097/TA.0b013e31829cb65e
- 28 Kärkkäinen J.M., Acosta S. Acute mesenteric ischemia (part I) — Incidence, etiologies, and how to improve early diagnosis. *Best Pract Res Clin Gastroenterol*. 2017;31(1):15–25. DOI: 10.1016/j.bpg.2016.10.018
- 29 Nuzzo A., Maggiori L., Ronot M., Becq A., Plessier A., Gault N., et al. Predictive factors of intestinal necrosis in acute mesenteric ischemia: prospective study from an intestinal stroke center. *Am J Gastroenterol*. 2017;112(4):597–605. DOI: 10.1038/ajg.2017.38
- 30 Lodigiani C., Iapichino G., Carenzo L., Cecconi M., Ferrazzi P., Sebastian T., et al. Venous and arterial thromboembolic complications in COVID-19 patients admitted to an academic hospital in Milan, Italy. *Thromb Res*. 2020;191:9–14. DOI: 10.1016/j.thromres.2020.04.024

- 31 Cattaneo M., Bertinato E.M., Birocchi S., Brizio C., Malavolta D., Manzoni M., et al. Pulmonary embolism or pulmonary thrombosis in COVID-19? Is the recommendation to use high-dose heparin for thromboprophylaxis justified? *Thromb Haemost.* 2020;120(8):1230–2. DOI: 10.1055/s-0040-1712097
- 32 Endean E.D., Barnes S.L., Kwolek C.J., Minion D.J., Schwarcz T.H., Mentzer R.M. Jr. Surgical management of thrombotic acute intestinal ischemia. *Ann Surg.* 2001;233(6):801–8. DOI: 10.1097/0000658-200106000-00010
- 33 Zeier M., Wiesel R., Rambauck M., Ritz E. Non-occlusive mesenteric infarction in dialysis patients: the importance of prevention and early intervention. *Nephrol Dial Transplant.* 1995;10(6):771–3. PMID: 7566602
- 34 Zielinski M.D., Eiken P.W. The science of mesenteric ischemia: a primer for the gastroenterologist. *Clin Gastroenterol Hepatol.* 2021;19(11):2249–51. DOI: 10.1016/j.cgh.2021.06.045
- 35 Kougias P., Lau D., El Sayed H.F., Zhou W., Huynh T.T., Lin P.H. Determinants of mortality and treatment outcome following surgical interventions for acute mesenteric ischemia. *J Vasc Surg.* 2007;46(3):467–74. DOI: 10.1016/j.jvs.2007.04.045
- 36 Nuzzo A., Maggiori L., Ronot M., Becq A., Plessier A., Gault N., et al. Predictive factors of intestinal necrosis in acute mesenteric ischemia: prospective study from an intestinal stroke center. *Am J Gastroenterol.* 2017;112:597–605. DOI: 10.1038/ajg.2017.38
- 37 Evennett N.J., Petrov M.S., Mittal A., Windsor J.A. Systematic review and pooled estimates for the diagnostic accuracy of serological markers for intestinal ischemia. *World J Surg.* 2009;33(7):1374–83. DOI: 10.1007/s00268-009-0074-7
- 38 Powell A., Armstrong P. Plasma biomarkers for early diagnosis of acute intestinal ischemia. *Semin Vasc Surg.* 2014;27(3–4):170–5. DOI: 10.1053/j.semvascsurg.2015.01.008
- 39 Block T., Nilsson T.K., Björck M., Acosta S. Diagnostic accuracy of plasma biomarkers for intestinal ischaemia. *Scand J Clin Lab Invest.* 2008;68(3):242–8. DOI: 10.1080/00365510701646264
- 40 Wilson C., Imrie C.W. Amylase and gut infarction. *Br J Surg.* 1986;73(3):219–21. DOI: 10.1002/bjs.1800730322
- 41 Matsumoto S., Sekine K., Funaoka H., Yamazaki M., Shimizu M., Hayashida K., et al. Diagnostic performance of plasma biomarkers in patients with acute intestinal ischaemia. *Br J Surg.* 2014;101(3):232–8. DOI: 10.1002/bjs.9331
- 42 Treskes N., Persoon A.M., van Zanten A.R.H. Diagnostic accuracy of novel serological biomarkers to detect acute mesenteric ischemia: a systematic review and meta-analysis. *Intern Emerg Med.* 2017;12(6):821–36. DOI: 10.1007/s11739-017-1668-y
- 43 Nuzzo A., Guedj K., Curac S., Hercend C., Bendavid C., Gault N., et al. Accuracy of citrulline, I-FABP and D-lactate in the diagnosis of acute mesenteric ischemia. *Sci Rep.* 2021;11(1):18929. DOI: 10.1038/s41598-021-98012-w
- 44 Peoc'h K., Nuzzo A., Guedj K., Paugam C., Corcos O. Diagnosis biomarkers in acute intestinal ischemic injury: so close, yet so far. *Clin Chem Lab Med.* 2018;56(3):373–85. DOI: 10.1515/cclm-2017-0291
- 45 Aschoff A.J., Stuber G., Becker B.W., Hoffmann M.H., Schmitz B.L., Schelzig H., et al. Evaluation of acute mesenteric ischemia: accuracy of biphasic mesenteric multi-detector CT angiography. *Abdom Imaging.* 2009;34(3):345–57. DOI: 10.1007/s00261-008-9392-8
- 46 Menke J. Diagnostic accuracy of multidetector CT in acute mesenteric ischemia: systematic review and meta-analysis. *Radiology.* 2010;256(1):93–101. DOI: 10.1148/radiol.10091938
- 47 Hagspiel K.D., Flors L., Hanley M., Norton P.T. Computed tomography angiography and magnetic resonance angiography imaging of the mesenteric vasculature. *Tech Vasc Interv Radiol.* 2015;18(1):2–13. DOI: 10.1053/j.tvir.2014.12.002
- 48 Ginsburg M., Obara P., Lambert D.L., Hanley M., Steigner M.L., Camacho M.A., et al. ACR Appropriateness Criteria® Imaging of mesenteric ischemia. *J Am Coll Radiol.* 2018;15(11S):S332–40. DOI: 10.1016/j.jacr.2018.09.018
- 49 Emile S.H., Khan S.M., Barsoum S.H. Predictors of bowel necrosis in patients with acute mesenteric ischemia: systematic review and meta-analysis. *Updates Surg.* 2021;73:47–57. DOI: 10.1007/s13304-020-00952-x
- 50 Bradbury A.W., Brittenden J., McBride K., Ruckley C.V. Mesenteric ischaemia: a multidisciplinary approach. *Br J Surg.* 1995;82(11):1446–59. DOI: 10.1002/bjs.1800821105
- 51 Kassahun W.T., Schulz T., Richter O., Hauss J. Unchanged high mortality rates from acute occlusive intestinal ischemia: six year review. *Langenbecks Arch Surg.* 2008;393(2):163–71. DOI: 10.1007/s00423-007-0263-5
- 52 Kirkpatrick I.D., Kroeker M.A., Greenberg H.M. Biphasic CT with mesenteric CT angiography in the evaluation of acute mesenteric ischemia: initial experience. *Radiology.* 2003;229(1):91–8. DOI: 10.1148/radiol.2291020991
- 53 Daviaud F., Grimaldi D., Dechartres A., Charpentier J., Geri G., Marin N., et al. Timing and causes of death in septic shock. *Ann Intensive Care.* 2015;5(1):16. DOI: 10.1186/s13613-015-0058-8
- 54 Guillaume A., Pili-Floury S., Chocron S., Delabrousse E., De Parseval B., Koch S., et al. Acute mesenteric ischemia among post-cardiac surgery patients presenting with multiple organ failure. *Shock.* 2016;47:296–302. DOI: 10.1097/SHK.0000000000000712
- 55 Mastoraki A., Mastoraki S., Tziava E., Touloumi S., Krinos N., Dnias N., et al. Mesenteric ischemia: Pathogenesis and challenging diagnostic and therapeutic modalities. *World J Gastrointest Pathophysiol.* 2016;7(1):125–30. DOI: 10.4291/wjgp.v7.i1.125
- 56 De Backer D., Creteur J., Silva E., Vincent J.L. Effects of dopamine, norepinephrine, and epinephrine on the splanchnic circulation in septic shock: which is best? *Crit Care Med.* 2003;31(6):1659–67. DOI: 10.1097/01.CCM.0000063045.77339.B6
- 57 Krychtiuk K.A., Richter B., Lenz M., Hohensinner P.J., Huber K., Hengstenberg C., et al. Epinephrine treatment but not time to ROSC is associated with intestinal injury in patients with cardiac arrest. *Resuscitation.* 2020;155:32–8. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2020.07.018
- 58 Bourcier S., Klug J., Nguyen L.S. Non-occlusive mesenteric ischemia: diagnostic challenges and perspectives in the era of artificial intelligence. *World J Gastroenterol.* 2021;27(26):4088–103. DOI: 10.3748/wjg.v27.i26.4088
- 59 Helmerhorst H.J., Schultz M.J., van der Voort P.H., de Jonge E., van Westerloo D.J. Bench-to bedside review: the effects of hyperoxia during critical illness. *Crit Care.* 2015;19(1):284. DOI: 10.1186/s13054-015-0996-4
- 60 Sartelli M., Coccolini F., Kluger Y., Agastra E., Abu-Zidan F.M., Abbas A.E.S., et al. WSES/GAIS/SIS-E/WSES/AAST global clinical pathways for patients with intra-abdominal infections. *World J Emerg Surg.* 2021;16(1):49. DOI: 10.1186/s13017-021-00387-8
- 61 Global Alliance for Infections in Surgery Working Group. A global declaration on appropriate use of antimicrobial agents across the surgical pathway. *Surg Infections.* 2017;18(8):846–53. DOI: 10.1089/sur.2017.078
- 62 Wyers M.C. Acute mesenteric ischemia: diagnostic approach and surgical treatment. *Semin Vasc Surg.* 2010;23(1):9–20. DOI: 10.1053/j.semvascsurg.2009.12.002
- 63 Corcos O., Nuzzo A. Gastro-intestinal vascular emergencies. *Best Pract Res Clin Gastroenterol.* 2013;27(5):709–25. DOI: 10.1016/j.bpg.2013.08.006
- 64 Sise M.J. Mesenteric ischemia: the whole spectrum. *Scand J Surg.* 2010;99(2):106–10. DOI: 10.1177/145749691009900212
- 65 Park W.M., Gloviczki P., Cherry K.J. Jr, Hallett J.W. Jr, Bower T.C., Panneton J.M., et al. Contemporary management of acute mesenteric ischemia: Factors associated with survival. *J Vasc Surg.* 2002;35(3):445–52. DOI: 10.1067/mva.2002.120373
- 66 Ballard J.L., Stone W.M., Hallett J.W., Pairolero P.C., Cherry K.J. A critical analysis of adjuvant techniques used to assess bowel viability in acute mesenteric ischemia. *Am Surg.* 1993;59(5):309–11. PMID: 8489100
- 67 Paral J., Ferko A., Plodr M., Raupach J., Hadzi-Nikolov D., Dolezal D., et al. Laparoscopic diagnostics of acute bowel ischemia using ultraviolet light and fluorescein dye: an experimental study. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech.* 2007;17(4):291–5. DOI: 10.1097/SLE.0b013e3180dc9376
- 68 McGinty J.J. Jr, Hogle N., Fowler D.L. Laparoscopic evaluation of intestinal ischemia using fluorescein and ultraviolet light in a porcine model. *Surg Endosc.* 2003;17(7):1140–3. DOI: 10.1007/s00464-001-8255-y
- 69 Wada T., Kawada K., Hoshino N., Inamoto S., Yoshitomi M., Hida K., et al. The effects of intraoperative ICG fluorescence angiography in laparoscopic low anterior resection: a propensity score-matched study. *Int J Clin Oncol.* 2019;24(4):394–402. DOI: 10.1007/s10147-018-1365-5
- 70 Chou E.L., Wang L.J., McLellan R.M., Feldman Z.M., Latz C.A., LaMuraglia G.M., et al. Evolution in the presentation, treatment, and outcomes of patients with acute mesenteric ischemia. *Ann Vasc Surg.* 2021;74:53–62. DOI: 10.1016/j.avsg.2021.01.116
- 71 Cocorullo G., Mirabella A., Falco N., Fontana T., Tutino R., Licari L., et al. An investigation of bedside laparoscopy in the ICU for cases of non-occlusive mesenteric ischemia. *World J Emerg Surg.* 2017;12:4. DOI: 10.1186/s13017-017-0118-5

- 72 Agresta F, Ansaloni L, Baiocchi G.L., Bergamini C., Campanile F.C., Carlucci M., et al. Laparoscopic approach to acute abdomen from the Consensus Development Conference of the Società Italiana di Chirurgia Endoscopica e nuove tecnologie (SICE), Associazione Chirurghi Ospedalieri Italiani (ACOI), Società Italiana di Chirurgia (SIC), Società Italiana di Chirurgia d'Urgenza e del Trauma (SICUT), Società Italiana di Chirurgia nell'Ospedalità Privata (SICOP), and the European Association for Endoscopic Surgery (EAES). *Surg Endosc.* 2012;26(8):2134–64. DOI: 10.1007/s00464-012-2331-3
- 73 Bergamini C., Alemanno G., Giordano A., Pantalone D., Fontani G., Di Bella A.M., et al. The role of bed-side laparoscopy in the management of acute mesenteric ischemia of recent onset in post-cardiac surgery patients admitted to ICU. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2022;48(1):87–96. DOI: 10.1007/s00068-020-01500-3
- 74 Schermerhorn M.L., Giles K.A., Hamdan A.D., Wyers M.C., Pomposelli F.B. Mesenteric revascularization: management and outcomes in the United States, 1988–2006. *J Vasc Surg.* 2009;50(2):341–8.e1. DOI: 10.1016/j.jvs.2009.03.004
- 75 Block T.A., Acosta S., Björck M. Endovascular and open surgery for acute occlusion of the superior mesenteric artery. *J Vasc Surg.* 2010;52(4):959–66. DOI: 10.1016/j.jvs.2010.05.084
- 76 Ryer E.J., Kalra M., Oderich G.S., Duncan A.A., Gloviczki P., Cha S., et al. Revascularization for acute mesenteric ischemia. *J Vasc Surg.* 2012;55(6):1682–9. DOI: 10.1016/j.jvs.2011.12.017
- 77 Al-Hilaly M.A., Abu-Zidan F.M. Mesenteric vein thrombosis: is it one disease? *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 1995;9(1):103–6. DOI: 10.1016/s1078-5884(05)80233-3
- 78 Stone H.H., Fabian T.C., Turkleson M.L., Jurkiewicz M.J. Management of acute full-thickness losses of the abdominal wall. *Ann Surg.* 1981;193(5):612–8. DOI: 10.1097/0000658-198105000-00011
- 79 Godat L., Kobayashi L., Costantini T., Coimbra R. Abdominal damage control surgery and reconstruction: world society of emergency surgery position paper. *World J Emerg Surg.* 2013;8(1):53. DOI: 10.1186/1749-7922-8-53
- 80 Weber D.G., Bendinelli C., Balogh Z.J. Damage control surgery for abdominal emergencies. *Br J Surg.* 2014;101(1):e109–18. DOI: 10.1002/bjs.9360
- 81 Meilahn J.E., Morris J.B., Ceppa E.P., Bulkley G.B. Effect of prolonged selective intramesenteric arterial vasodilator therapy on intestinal viability after acute segmental mesenteric vascular occlusion. *Ann Surg.* 2001;234(1):107–15. DOI: 10.1097/0000658-200107000-00016
- 82 American Gastroenterological Association Medical Position Statement: guidelines on intestinal ischemia. *Gastroenterology.* 2000;118(5):951–3. doi: 10.1016/s0016-5085(00)70182-x
- 83 2011 WRITING GROUP MEMBERS; 2005 WRITING COMMITTEE MEMBERS; ACCF/AHA TASK FORCE MEMBERS. 2011 ACCF/AHA Focused Update of the Guideline for the Management of patients with peripheral artery disease (Updating the 2005 Guideline): a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on practice guidelines. *Circulation.* 2011;124(18):2020–45. DOI: 10.1161/CIR.0b013e31822e80c3
- 84 Tilsed J.V., Casamassima A., Kurihara H., Mariani D., Martinez I., Pereira J., et al. ESTES guidelines: acute mesenteric ischaemia. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2016;42(2):253–70. DOI: 10.1007/s00068-016-0634-0
- 85 Klotz S., Vestring T., Rötger J., Schmidt C., Scheld H.H., Schmid C. Diagnosis and treatment of nonocclusive mesenteric ischemia after open heart surgery. *Ann Thorac Surg.* 2001;72(5):1583–6. DOI: 10.1016/s0003-4975(01)03179-4
- 86 Takiguchi T., Nakajima M., Ohbe H., Sasabuchi Y., Matsui H., Fushimi K., et al. Vasodilator therapy and mortality in nonocclusive mesenteric ischemia: a nationwide observational study. *Crit Care Med.* 2020;48(5):e356–61. DOI: 10.1097/CCM.0000000000004255
- 87 Roussel A., Castier Y., Nuzzo A., Pellenc Q., Sibert A., Panis Y., et al. Revascularization of acute mesenteric ischemia after creation of a dedicated multidisciplinary center. *J Vasc Surg.* 2015;62(5):1251–6. DOI: 10.1016/j.jvs.2015.06.204
- 88 Reintam Blaser A., Acosta S., Arabi Y.M. A clinical approach to acute mesenteric ischemia. *Curr Opin Crit Care.* 2021;27(2):183–92. DOI: 10.1097/MCC.0000000000000802
- 89 Lilley E.J., Cooper Z., Schwarze M.L., Mosenthal A.C. Palliative care in surgery: defining the research priorities. *J Palliat Med.* 2017;20(7):702–9. DOI: 10.1089/jpm.2017.0079
- 90 Zierler R.E., Jordan W.D., Lal B.K., Mussa F., Leers S., Fulton J., et al. The Society for Vascular Surgery practice guidelines on follow-up after vascular surgery arterial procedures. *J Vasc Surg.* 2018;68(1):256–84. DOI: 10.1016/j.jvs.2018.04.018
- © Тимербулатов Ш.В., Гафарова А.Р., Плечев В.В., Гараев Р.Р., Тимербулатов В.М., 2025
- © Timerbulatov Sh.V., Gafarova A.R., Plechev V.V., Garaev R.R., Timerbulatov V.M., 2025



<https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-402-414>



Роль нарушений микроциркуляции в развитии послеоперационных осложнений в абдоминальной хирургии

Рыжков Иван Александрович — к.м.н, ведущий научный сотрудник, лаборатория экспериментальных исследований, orcid.org/0000-0002-0631-5666

И.А. Рыжков, Л.А. Варнакова, П.А. Фонова*

НИИ общей реаниматологии им. В. А. Неговского Федерального научно-клинического центра реаниматологии и реабилитологии, Россия, Москва

Варнакова Лидия Александровна — младший научный сотрудник, лаборатория экспериментальных исследований, orcid.org/0000-0003-4420-1923

* **Контакты:** Рыжков Иван Александрович, e-mail: iryzhkov@fnkcrr.ru

Фонова Полина Александровна — младший научный сотрудник, лаборатория экспериментальных исследований, orcid.org/0000-0000-7224-7131

Аннотация

Послеоперационные осложнения являются насущной проблемой клинической медицины, ухудшая прогноз и повышая риск летального исхода у хирургических пациентов, особенно в абдоминальной и онкологической хирургии. Согласно современным представлениям микроциркуляторная дисфункция является важным патофизиологическим фактором, лежащим в основе гипоперфузии тканей и развития неблагоприятных послеоперационных исходов. В данном обзоре обобщены современные данные о взаимосвязи между нарушениями микроциркуляции (в области операции и в организме в целом) и послеоперационными осложнениями в абдоминальной хирургии. В обзоре рассматриваются следующие вопросы: (1) эпидемиология послеоперационных осложнений и актуальность этой проблемы в клинической хирургии и реаниматологии; (2) патофизиология периоперационных микроциркуляторных нарушений, включая геморрагический шок, диссеминированное внутрисосудистое свертывание (ДВС-синдром) и эндотелиальную дисфункцию; (3) органоспецифические изменения микроциркуляции при хирургических заболеваниях; (4) современные методы диагностики и мониторинга для оценки тканевой перфузии; (5) прогностическое и диагностическое значение ряда параметров микроциркуляции; и (6) современные терапевтические подходы к оптимизации тканевой перфузии и профилактике осложнений. Понимание важной роли микроциркуляции в обеспечении перфузии и оксигенации тканей обосновывает применение методов интенсивной терапии, ориентированных на микроциркуляцию и, следовательно, предупреждение ишемии органов и риска инфекционных и других послеоперационных осложнений.

Ключевые слова: микроциркуляция, послеоперационные осложнения, тканевая перфузия, эндотелиальная дисфункция, абдоминальная хирургия, онкология

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FGWS-2025-0008).

Вклад авторов:

Рыжков И.А. — идея и план обзора, написание разделов черновой версии, редактирование финальной версии обзора, общее руководство проектом;

Варнакова Л.А. — поиск и систематизация литературных источников, написание разделов черновой версии обзора;

Фонова П.А. — поиск и систематизация литературных источников, написание разделов черновой версии обзора; оформление текста рукописи и подготовка к отправке в журнал.

Для цитирования: Рыжков И.А., Варнакова Л.А., Фонова П.А. Роль нарушений микроциркуляции в развитии послеоперационных осложнений в абдоминальной хирургии. Креативная хирургия и онкология. 2025;15(4):402–414. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-402-414>

Поступила в редакцию: 14.10.2025

Поступила после рецензирования и доработки: 18.11.2025

Принята к публикации: 21.11.2025

Effects of Microcirculation Disorders on the Development of Postoperative Complications in Abdominal Surgery

Ivan A. Ryzhkov*, Lidia A. Varnakova, Polina A. Fonova

V.A. Negovskiy Scientific Research Institute of General Resuscitation, Federal Scientific and Clinical Centre of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow, Russian Federation

*Correspondence to: Ivan A. Ryzhkov, e-mail: iryzhkov@fnkcr.ru

Abstract

Postoperative complications represent a pressing issue of clinical medicine, worsening the prognosis and increasing the risk of death in surgical patients, especially in abdominal and oncological surgery. According to contemporary concepts, microcirculatory dysfunction appears to be an important pathophysiological factor underlying tissue hypoperfusion and development of unfavorable postoperative outcomes. The present review summarizes current data on the relationship between microcirculation disorders both in the surgical area and body as a whole and postoperative complications of abdominal surgery. The review addresses the following issues: (1) epidemiology of postoperative complications and its relevance in clinical surgery and resuscitation; (2) pathophysiology of perioperative microcirculatory disorders, including hemorrhagic shock, disseminated intravascular coagulation (DIC) and endothelial dysfunction; (3) organ-specific changes in microcirculation in surgical diseases; (4) contemporary diagnostic and monitoring methods for tissue perfusion assessment; (5) prognostic and diagnostic value of a number of microcirculation parameters; (6) contemporary therapeutic approaches to tissue perfusion optimization and complication prevention. Understanding the important role of microcirculation in ensuring tissue perfusion and oxygenation justifies the use of intensive care methods focused on microcirculation and thus the prevention of organ ischemia, infectious and other postoperative complications.

Keywords: microcirculation, postoperative complications, tissue perfusion, endothelial dysfunction, abdominal surgery, oncology

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

Sponsorship data. The research was carried out as assigned by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, subject No. FGWS-2025-0008.

Author contributions:

I.A. Ryzhkov – idea and plan of the review, writing of the draft version sections, editing of the final version, general management;

L.A. Varnakova – search and systematization of literature sources, writing of the draft version sections;

P.A. Fonova – search and systematization of literature sources, writing of the draft version sections, formatting of the manuscript text and its preparation for submission to the journal.

For citation: Ryzhkov I.A., Varnakova L.A., Fonova P.A. Effects of microcirculation disorders on the development of postoperative complications in abdominal surgery. *Creative Surgery and Oncology*. 2025;15(4):402–414. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-402-414>

Received: 14.10.2025

Revised: 18.11.2025

Accepted: 21.11.2025

Ivan A. Ryzhkov — Cand. Sci. (Med.), Leading Researcher, Laboratory of Experimental Research, orcid.org/0000-0002-0631-5666

Lidia A. Varnakova — Junior Researcher, Laboratory of Experimental Research, orcid.org/0000-0003-4420-1923

Polina A. Fonova — Junior Researcher, Laboratory of Experimental Research, orcid.org/0009-0000-7224-7131

ВВЕДЕНИЕ

Большие хирургические операции (например, лапаротомия с резекцией толстой кишки) направлены на спасение жизни и здоровья пациента, тем не менее представляют для пациента значительный физиологический стресс, активирующий множество компенсаторных реакций организма [1]. Несмотря на то что развитие хирургических технологий и методов интенсивной терапии существенно снизили периоперационную летальность, различные послеоперационные осложнения остаются значимой проблемой клинической хирургии. Их частота в отделениях общей хирургии в среднем составляет 15–20%, при этом почти в 40% таких случаев у пациента развивается несколько осложнений [2, 3]. Развитие послеоперационных осложнений зависит от многих факторов, но все больше данных указывают на микроциркуляторную дисфункцию как на один из важнейших патофизиологических механизмов, связывающих первоначальную хирургическую травму с последующей органной дисфункцией и тяжелыми осложнениями [4]. Пациенты онкологического профиля имеют дополнительные факторы риска развития тяжелых послеоперационных осложнений, вызванных тканевой гипоперфузией (склонность к гиперкоагуляции и тромбозам, сниженный нутритивный статус и регенерация тканей, иммуносупрессия и др.) [5, 6].

Микроциркуляторное русло, включающее артериолы, капилляры и вены диаметром менее 100 мкм, служит так называемым «нутритивным» звеном сердечно-сосудистой системы, осуществляющим доставку кислорода и питательных веществ к тканям и выведение продуктов жизнедеятельности. Нарушение микроциркуляторного кровотока в периоперационном периоде может привести к гипоксии тканей, дисфункции органов и хирургическим осложнениям [7]. Исторически периоперационное ведение хирургических пациентов было сосредоточено на поддержании параметров системной гемодинамики, включая артериальное давление, сердечный выброс и центральное венозное давление, являющихся движущей силой регионарного кровообращения и обеспечивающих адекватную системную доставку кислорода [8]. Однако понимание того, что микроциркуляция в отдельных органах может быть существенно нарушена, несмотря на вполне нормальные значения параметров системной гемодинамики, коренным образом изменило представления о физиологии и патофизиологии тканевой перфузии [9]. Согласно этой концепции многофакторные расстройства микроциркуляции (особенно при сепсисе и шоке) приводят к гипоксии, активации воспалительных каскадов, коагулопатии и, в конечном счете, к полиорганной дисфункции — независимо от стабильности системной гемодинамики. Тем самым в стратегии предупреждения послеоперационных осложнений, наряду с традиционными хирургическими аспектами ведения пациентов (асептика, минимизация операционной травмы, контроль гемостаза, перевязки и т. п.), в комплексе мер интенсивной терапии все большее место занимает регулярная оценка перфузии и оксигенации тканей как в области хирургического вмешательства,

так и в организме в целом. На основании этой оценки может проводиться персонализированная коррекция как хирургической тактики, так и направленности интенсивной терапии.

В данном обзоре обобщены современные представления о роли микроциркуляторных нарушений в развитии послеоперационных осложнений после операций на органах брюшной полости, с особым акцентом на онкологических вмешательствах. Рассмотрены эпидемиология и клиническая значимость этой проблемы, патофизиология микроциркуляторных расстройств, современные диагностические подходы к их выявлению, обсуждаются результаты клинических и доклинических исследований в этой области, а также современные терапевтические стратегии.

Эпидемиология послеоперационных осложнений в абдоминальной и онкологической хирургии

Послеоперационные осложнения после обширных абдоминальных операций существенно влияют как на краткосрочные, так и на долгосрочные результаты лечения пациента. При плановых обширных абдоминальных операциях общая частота осложнений колеблется от 12,8 до 24,1%, при этом тяжелые осложнения (III степени по шкале Clavien-Dindo и выше) возникают у 6–14% пациентов. При больших хирургических операциях внутригоспитальная летальность увеличивается с 3 до 5–10% [2, 10].

Эта проблема особенно остро стоит в онкохирургии, где сочетание злокачественных новообразований, обширной резекции и сниженного функционального резерва создает повышенную уязвимость этой категории пациентов. После гастрэктомии по поводу рака желудка послеоперационные осложнения возникали примерно у 24% пациентов [11]. Наиболее частыми были легочные осложнения (5,6%), несостоятельность анастомоза (4,6%) и жидкостные скопления в брюшной полости (3,8%). Несостоятельность кишечного анастомоза имеет особенно серьезные последствия. Обобщение результатов исследований позволяет предположить, что своевременное распознавание и устранение несостоятельности анастомоза может значительно снизить летальность. В колоректальной хирургии частота несостоятельности анастомозов колеблется от 3 до 15%, представляя собой основной источник заболеваемости (в частности, абдоминального сепсиса), длительной госпитализации и летальности [12].

Медико-социальная значимость послеоперационных осложнений выходит далеко за рамки непосредственного периода госпитализации. Даже относительно легкие осложнения (I–II степени по Clavien-Dindo) могут быть прогностическими факторами неблагоприятного течения заболевания в отдаленном периоде, при этом возникновение двух или более осложнений любой степени тяжести тесно связано с последующей общей заболеваемостью и неблагоприятными исходами [13]. Качество жизни у таких пациентов может значительно и стойко снижаться, сохраняясь на низком уровне до 12 месяцев после операции [10]. Более того, послеоперационные

осложнения негативно влияют на онкологические исходы: в нескольких исследованиях продемонстрирована связь между осложнениями и снижением общей выживаемости, а также повышением частоты рецидивов рака при злокачественных новообразованиях желудочно-кишечного тракта [14].

Экономический ущерб от послеоперационных осложнений для системы здравоохранения также значительный. Пациенты с послеоперационными осложнениями дольше находятся на стационарном лечении, чаще нуждаются в переводе в отделение реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ) и в повторных госпитализациях, что значительно увеличивает расходы системы здравоохранения. Летальность резко возрастает с увеличением тяжести осложнений, особенно в условиях неотложной помощи, а также среди пожилых и коморбидных пациентов [15].

Основные виды оперативных вмешательств в абдоминальной хирургии и профиль послеоперационных осложнений

В онкохирургии основными видами абдоминальных оперативных вмешательств являются резекция желудка и гастрэктомия, резекция толстой кишки, панкреатодуоденальная резекция и резекция печени. Хирургическое лечение рака желудка включает субтотальную или тотальную гастрэктомию с лимфаденэктомией. К основным послеоперационным осложнениям относятся несостоятельность анастомоза, внутрибрюшные инфекционные осложнения, послеоперационная пневмония и панкреатический свищ с общей частотой развития 12,8–14,0% [16]. Роботизированные методы могут снизить частоту инфекционных осложнений по сравнению со стандартными лапароскопическими методами, возможно, за счет меньшего повреждения мягких тканей и сосудов [17].

При колоректальном раке область и объем оперативного вмешательства варьируют от правосторонней гемиколэктомии до низкой передней резекции прямой кишки. Несостоятельность анастомоза остается наиболее опасным осложнением, на которое в значительной степени влияет перфузия тканей кишки в месте анастомоза [12]. При левосторонних резекциях частота несостоятельности выше из-за зон плохого кровоснабжения (на границе двух сосудистых бассейнов) и натяжения анастомоза. Современные методы визуализации для интраоперационной оценки перфузии все чаще применяются для определения участков кишки, оптимальных для трансекции [18].

Панкреатодуоденальная резекция и дистальная панкреатэктомия при аденокарциноме поджелудочной железы относятся к сложным оперативным вмешательствам с высоким риском развития послеоперационных осложнений. К ним относят панкреатический свищ, гастростаз, желудочно-кишечное кровотечение и желчеистечение. При необходимости резекции артерии или воротной вены при местнораспространенном онкологическом процессе периоперационная летальность значительно возрастает (до 8–11%). Тем не менее долгосрочные преимущества в плане выживаемости

оправдывают применение агрессивных методов лечения у отдельных пациентов [19].

Резекция печени при первичном или метастатическом злокачественном новообразовании сопряжена с риском кровотечения, желчеистечения, печеночной недостаточности и инфекционных осложнений. Использование окклюзии сосудистого притока (маневр Pringle) предотвращает кровопотерю, но неизбежно приводит к ишемически-реперфузионному повреждению [20]. Нарушения микроциркуляции в печени после резекции существенно влияют на регенеративную способность и послеоперационную функцию печени [21].

В периоперационном периоде сочетание множества факторов повышает риск развития осложнений. Хирургический стресс вызывает выраженные нейроэндокринные и воспалительные реакции, которые, в свою очередь, ассоциированы с нарушениями кровообращения, гемокоагуляции и неадекватным иммунным ответом. Интраоперационные факторы, такие как продолжительность операции, кровопотеря, водно-электролитные нарушения, гипотермия и травма тканей, усугубляют эти патологические процессы [22].

Известно, что в неотложной абдоминальной хирургии (например, при кишечной непроходимости, перфорации полого органа и перитоните) риск послеоперационных осложнений намного выше, чем после плановых оперативных вмешательств. При этом в структуре послеоперационных осложнений широко представлены как хирургические (кровотечение, нагноение и т.п.), так и терапевтические (нозокомиальная пневмония, тромбоз эмболия) проблемы [23, 24].

У онкологических пациентов предшествующие недостаточность питания, саркопения и иммуносупрессия, вызванная опухолью, дополнительно снижают физиологические резервы организма [6].

Патофизиология микроциркуляторных нарушений в периоперационном периоде

В периоперационном периоде нарушения микроциркуляции во внутренних органах развиваются в результате действия множества взаимосвязанных патогенетических факторов. Острая интраоперационная кровопотеря снижает объем циркулирующей крови (гиповолемия) и кислородную емкость крови (анемия), снижая микрососудистое перфузионное давление и плотность функционирующих капилляров [25]. Даже после восстановления системной гемодинамики микроциркуляторные нарушения могут персистировать, отражая потерю гемодинамической когерентности между макро- и микроциркуляцией [4, 26]. Согласно современным представлениям этот феномен обусловлен в том числе эндотелиальной дисфункцией и деградацией гликокаликса. Эндотелиальный гликокаликс — тонкий гликопротеин-протеогликановый слой, выстилающий поверхность сосудистого эндотелия — играет ключевую роль в сосудистом гомеостазе, регуляции проницаемости микрососудов и миграции лейкоцитов. Хирургическая травма, ишемия-реперфузия и воспалительные медиаторы вызывают разрушение гликокаликса, о чем свидетельствует повышение уровня

синдекана-1 и гепарансульфата в плазме крови [27]. Деградация гликокаликса повышает проницаемость сосудов, способствует образованию микротромбов и нарушает эндотелий-зависимую вазодилатацию. Выявлено значительное повышение уровня синдекана-1 во время обширных хирургических вмешательств, а более высокие предоперационные уровни этого биомаркера ассоциированы с острым повреждением почек после кардиохирургических вмешательств [28].

Некоторые оперативные вмешательства на органах брюшной полости ассоциированы с высоким риском ишемически-реперфузионного повреждения тканей. Временная окклюзия сосудов во время операции (например, маневр Pringle при резекции печени, пережатие аорты) с последующей реперфузией приводит к образованию активных форм кислорода, активации воспалительных каскадов и повреждению эндотелия. Это проявляется снижением плотности функционирующих капилляров, увеличением гетерогенности перфузии и повышением проницаемости микрососудов [20]. Стратегии ишемического preconditionирования продемонстрировали свою эффективность в смягчении этих патологических эффектов за счет усиления перфузии и активации клеточных механизмов гепатопротекции при реперфузии [29].

Тяжелый хирургический стресс, сепсис, массивное переливание крови и шок могут спровоцировать диссеминированное внутрисосудистое свертывание (ДВС-синдром), характеризующееся системной активацией коагуляции, потреблением факторов свертывания и тромбоцитов, а также распространенным микрососудистым тромбозом. Одновременно высокий риск как тромбоза, так и кровотечения значительно осложняет периоперационное ведение такой когорты пациентов. Микротромбоз, ассоциированный с ДВС, вызывает гипоперфузию и дисфункцию органов, особенно почек и печени [30].

Как было отмечено ранее, большие абдоминальные операции часто сопровождаются активацией системного воспалительного ответа на операционную травму, который в случае присоединения инфекционных осложнений приобретает клиническую форму абдоминального сепсиса. В частности, бактериальная транслокация через поврежденные кишечные барьеры, инфекции в месте операции и несостоятельность анастомозов могут спровоцировать сепсис, характеризующийся нарушением регуляции иммунного ответа организма на инфекцию [31]. В настоящее время установлено, что сепсис вызывает глубокие микроциркуляторные нарушения, включая снижение плотности функционирующих капилляров, гетерогенность перфузии и нарушение эндотелий-зависимой вазодилатации. Провоспалительные цитокины, активация нейтрофилов и образование нейтрофильных внеклеточных ловушек дополнительно повреждают микрососудистое русло [32].

Наконец, гемореологические нарушения (изменение текучести крови) являются важным патогенетическим фактором развития тромбоэмболических осложнений и гипоперфузии органов в послеоперационном перио-

де. С одной стороны, дегидратация, недостаточная инфузия и увеличение гематокрита увеличивают вязкость крови и способствуют формированию венозных тромбов (особенно в глубоких венах нижних конечностей и таза). С другой стороны, периоперационная гемодилюция, вызванная избыточной инфузионной терапией, снижает вязкость крови и гематокрит, что может нарушить доставку кислорода, несмотря на улучшение реологических свойств. В то время как умеренная гемодилюция может улучшить микроциркуляторное русло за счет снижения вязкости, чрезмерная инфузионная терапия и анемия снижают способность крови переносить кислород и могут спровоцировать разрушение гликокаликса [33]. Баланс между поддержанием адекватного перфузионного давления и кислородной емкости крови требует контроля водного баланса и тщательного титрования инфузионной терапии [25].

Микроциркуляторные нарушения, возникающие после больших абдоминальных операций, имеют свою специфику в разных органах брюшной полости. Желудочно-кишечный тракт особенно уязвим к микроциркуляторным расстройствам. Ишемия-реперфузия кишечника вследствие пережатия сосудов, хирургических манипуляций или системной гипоперфузии приводит к повреждению слизистой оболочки, повышению ее проницаемости и бактериальной транслокации [34]. Нарушение микроциркуляции в брыжейке оперированной кишки резко повышает риск несостоятельности анастомоза, поскольку адекватная капиллярная перфузия необходима для заживления. Интраоперационная оценка состояния микроциркуляции в кишке с помощью лазерной доплеровской флоуметрии или лазерной спекл-контрастной визуализации позволяет выявить области недостаточной перфузии, что позволяет более взвешенно принимать решения в отношении хирургической тактики [35, 36].

Двойное кровоснабжение печени через печеночную артерию и воротную вену в сочетании с ее важными синтетическими и метаболическими функциями делают этот орган восприимчивым к нарушениям перфузии. Ишемия-реперфузия печени во время резекции нарушает перфузию синусоидов, активирует клетки Купфера и вызывает окислительный стресс. Нарушения микроциркуляции ограничивают регенеративные возможности и увеличивают риск развития печеночной недостаточности после резекции печени [21]. Стратегии оптимизации перфузии печени, включая ишемическое preconditionирование и фармакологические препараты, продемонстрировали свою эффективность в доклинических моделях и в небольших клинических исследованиях [29, 37].

Почки также чувствительны к гипоперфузии в периоперационном периоде. Например, острое повреждение почек, связанное с кардиохирургическим вмешательством, встречается у 30% пациентов, которым проводилось искусственное кровообращение, и обусловлено перенесенной ишемией-реперфузией, воспалением и гемолизом [38]. Поддержание адекватного перфузионного давления в почках (среднее артериальное давление за вычетом центрального венозного давления)

имеет решающее значение, поскольку показано, что периоды низкого перфузионного давления являются значимым предиктором послеоперационной дисфункции почек [39].

Современные методы оценки микроциркуляции

Современные методы оценки периферической перфузии и микроциркуляции включают в себя (1) несколько вариантов прижизненной видеомикроскопии тканей (обычно в слизистой подъязычной области или коже ногтевого валика); (2) ряд методов, основанных на лазерных технологиях; (3) косвенные методы оценки перфузии путем измерения параметров оксигенации и обмена веществ в тканях (оксиметрия, капнометрия, флуоресцентная спектроскопия и др.) [40]. Отдельным направлением в исследовании микрогемоциркуляции является оценка реологических свойств крови и отдельных эритроцитов (вискозиметрия, агрегируемость и деформируемость эритроцитов и др.).

Современные варианты прижизненной сублингвальной видеомикроскопии представлены портативными микроскопами, в основе которых лежит использование боковой или прямой темнопольной микроскопии (англ. sidestream dark-field (SDF), incident dark-field (IDF) imaging соответственно) [41]. Эти технологии позволяют неинвазивно визуализировать сублингвальную микроциркуляцию «у постели больного». Слизистая оболочка сублингвальной области является относительно доступным участком тела для оценки системной микрососудистой перфузии, в частности у хирургических пациентов в периоперационном периоде [42]. Ключевые параметры прижизненной видеомикроскопии включают общую плотность микрососудов, плотность функционирующих (перфузируемых) микрососудов, долю перфузируемых сосудов, индекс микрососудистого кровотока и индекс гетерогенности [41]. Автоматизированные алгоритмы анализа облегчают количественную оценку в режиме реального времени, расширяя возможности клинического применения. Клинические исследования демонстрируют изменение сублингвальной микроциркуляции во время обширных хирургических вмешательств, при этом мало данных о том, как связаны изменения сублингвальной микроциркуляции с перфузией внутренних органов и с послеоперационными осложнениями [42]. В рандомизированном клиническом исследовании показано, что интеграция сублингвальных измерений микроциркуляции в комплексный мониторинг пациентов оптимизировала процесс принятия терапевтических решений (коррекция инфузионной или вазопрессорной терапии), но не снижала 30-дневную летальность у пациентов с шоком, госпитализированных в ОРИТ [43]. Во время больших абдоминальных операций у детей наблюдалось снижение плотности капилляров в подъязычной области, при этом минимальные значения достигались интраоперационно и постепенно восстанавливались после операции [44].

Прямая визуализация микрососудистой перфузии в поверхностных тканях внутренних органов возмож-

на во время открытых операций, а с недавних пор и при лапароскопии [36, 45]. Боковая темнопольная микроскопия микрососудов в серозной оболочке кишечника, поверхности печени или брюшины позволяет получить данные о перфузии в режиме реального времени [46]. Этот подход позволяет хирургам оценивать жизнеспособность тканей, определять границы резекции и оптимизировать выбор места анастомоза на основе объективного измерения перфузии [36].

С помощью лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) измеряют усредненную скорость движения эритроцитов в микрососудах ткани, используя для этого регистрацию доплеровского смещения частоты отраженного лазерного света по сравнению с частотой зондирующего излучения (чаще в красном или ближнем инфракрасном диапазоне) [47, 48]. Несмотря на небольшой объем исследуемой ткани (обычно 1–2 мм³), ЛДФ дает возможность непрерывной количественной оценки перфузии и ее относительного изменения в динамике. Области применения в хирургии включают оценку жизнеспособности кожного лоскута, перфузии кишечника во время колоректальных операций, печеночного кровотока во время резекции печени и даже головного мозга при нейрохирургических вмешательствах [35, 49, 50]. У пациентов онкологического профиля ЛДФ используется в более широком контексте: не только для анализа перфузии и жизнеспособности оперируемого участка кишки, но и, например, для оценки риска развития острых кожных лучевых реакций при проведении лучевой терапии [51].

Лазерная спекл-контрастная визуализация (ЛСКВ) создает двумерные карты перфузии в реальном времени, анализируя интерференционную картину (спекл), образующуюся при взаимодействии когерентного лазерного света с движущимися эритроцитами. Преимущества перед ЛДФ и многими другими методами включают широкопольное изображение с высоким пространственным разрешением, бесконтактную технологию измерения перфузии, отсутствие необходимости в контрастных веществах и быстрое получение изображений [52, 53]. Клиническое применение охватывает колоректальную хирургию для оценки перфузии анастомозов, хирургию печени для интраоперационного мониторинга перфузии и пластическую хирургию для оценки состояния лоскута [18]. Исследования показывают, что принятие хирургических решений под контролем ЛСКВ позволяет выявлять ишемические края и потенциально снижать частоту несостоятельности анастомоза [54].

Уже накопился достаточно большой опыт применения индоцианина зеленого и флуоресцентной ангиографии в абдоминальной хирургии. Этот метод позволяет визуализировать анатомические структуры и перфузию тканей, которые не видны при стандартном освещении, например при лапароскопических вмешательствах. В частности, применение этого метода визуализации показано для оценки перфузии кишечника, печени, локализации новообразований и обеспечения безопасности объема резекции органа [55].

Ближняя инфракрасная спектроскопия (англ. Near-Infrared Spectroscopy, NIRS) позволяет неинвазивно

оценить оксигенацию (StO_2) глубоких тканей (например, скелетной мышцы или головного мозга) путем количественной оценки спектров поглощения оксигенированного и дезоксигенированного гемоглобина в ближнем инфракрасном диапазоне. Применяемая к периферическим тканям (обычно в области тенара большого пальца) или непосредственно к внутренним органам, NIRS отражает баланс между доставкой и потреблением кислорода. Динамическая оценка StO_2 с использованием сосудистой окклюзионной пробы (временное пережатие плечевой артерии с последующей оценкой постокклюзионной реактивной гиперемии в тканях кисти) позволяет оценить микрососудистую реактивность и функцию эндотелия [56]. Периперационный мониторинг NIRS демонстрирует связь между выраженностью гипоксии тканей и неблагоприятными исходами, хотя его значение в качестве терапевтического ориентира требует дальнейшей валидации [57].

Измерение rCO_2 в слизистой оболочке желудка (желудочная тонометрия) или в слизистой оболочке подязычной области косвенно отражает спланхическую перфузию [56]. Увеличенная разница между rCO_2 в слизистой оболочке и в артериальной крови (англ. rCO_2 gap) указывает на гипоперфузию тканей и связана с повышенным риском осложнений и летальностью у пациентов в критическом состоянии. Несмотря на то что тонометрия ранее применялась, во многих центрах она была вытеснена более современными и прямыми методами оценки микроциркуляции, описанными выше.

Несмотря на очевидные преимущества в хирургии методов прямой оценки перфузии и особенностей микроциркуляции в конкретном органе (например, в стенке кишки или в области заживающей раны), лабораторные маркеры гипоперфузии и эндотелиальной дисфункции более надежно отражают состояние системной микроциркуляции, т.е. в организме в целом. Концентрация лактата (молочной кислоты) в сыворотке крови отражает баланс между его продукцией (в первую очередь за счет анаэробного метаболизма в гипоксических тканях) и его клиренсом (печеночным и почечным). Повышенный уровень лактата указывает на гипоперфузию тканей, а стойкая гиперлактатемия является предиктором неблагоприятных исходов при сепсисе, геморрагическом шоке и других критических состояниях [57]. Важно отметить, что динамические изменения уровня лактата более информативны, чем отдельные измерения [58]. Методы микродиализа позволяют измерять локальный уровень лактата в тканях, обеспечивая органоспецифическую оценку метаболических нарушений. Сатурация центральной венозной крови кислородом ($ScvO_2$) отражает баланс между системной доставкой и потреблением кислорода. Хотя параметр $ScvO_2$ является маркером адекватности глобальной перфузии, он может неточно отражать микроциркуляторную функцию, особенно при сепсисе, когда функциональное шунтирование на уровне микроциркуляторного русла может происходить, несмотря на нормальный или повышенный уровень $ScvO_2$ [59].

Циркулирующие лабораторные маркеры повреждения эндотелия и дегенерации гликокаликса включают

синдекан-1, гепарансульфат, гиалуронан, растворимый тромбомодулин, фактор Виллебранда, E-селектин и рецептор конечных продуктов гликирования (англ. RAGE). Повышенные уровни коррелируют с тяжестью хирургического стресса, дисфункцией органов и летальностью [60–62]. Синдекан-1 стал особенно ценным биомаркером, предоперационные уровни которого позволяют прогнозировать острое повреждение почек после кардиохирургических операций, а динамические изменения отражают эффективность лечебных мер [28].

Диагностическая и прогностическая значимость параметров микроциркуляции в абдоминальной хирургии

Прямая оценка микроциркуляции в органах брюшной полости во время абдоминальных операций позволяет исследовать патологию органного кровообращения в периперационном периоде, вовремя диагностировать микроциркуляторную дисфункцию и оперативно менять хирургическую тактику. Проспективное клиническое исследование обширных абдоминальных операций показало, что сублингвальная микроциркуляция ухудшается во время операции, при этом снижение плотности капилляров обратно пропорционально потребности в норадреналине [44]. Важно отметить, что через 24 часа после операции у некоторых пациентов микроциркуляция оставалась нарушенной, несмотря на стабильные макроциркуляторные параметры. Микроциркуляция в серозной оболочке кишечника (оцененная интраоперационно при абдоминальных операциях методом прижизненной видеомикроскопии) плохо коррелировала с артериальным давлением [46]. Эти данные еще раз подчеркивают, что поддержание адекватного системного артериального давления у значительной части пациентов не гарантирует оптимальной микрососудистой перфузии, что подтверждает целесообразность прямого мониторинга микроциркуляции.

В колоректальной хирургии интраоперационная оценка перфузии анастомоза с помощью лазерной спекл-контрастной визуализации или флуоресцентной ангиографии с индоцианином зеленым позволяет объективно определить ишемизированные края. Были установлены количественные пороги перфузии, которые позволяют определить границы резекции и потенциально снизить частоту несостоятельности анастомоза [18]. Аналогичные подходы в хирургии печени облегчают оценку перфузии печени во время и после резекции, давая информацию для принятия решений о жизнеспособности оставшейся части печени [63].

Микроциркуляция при сепсисе и септическом шоке на данный момент подробно изучена, выявив снижение плотности функционирующих капилляров, неоднородное распределение кровотока в микрососудистом русле и потерю гемодинамической когерентности [64]. Важно отметить, что изменения микроциркуляции при сепсисе прогнозируют летальность независимо от параметров системной гемодинамики. Раннее увеличение микроциркуляторной перфузии на фоне интенсивной терапии ассоциируется со снижением тяжести полиор-

ганной недостаточности, что подтверждает эффективность терапевтических стратегий, ориентированных на микроциркуляцию [65]. Многоцентровое рандомизированное клиническое исследование показало, что учет показателей микроциркуляции в сублингвальной области при принятии клинических решения по лечению пациентов с шоком статистически значимо снижает 30-дневную летальность по сравнению со стандартной терапией. Однако в группе вмешательства вазоактивные препараты и инфузионная терапия корректировались с учетом микроциркуляторной перфузии, что можно рассматривать как один из вариантов персонализированного подхода в лечении критических состояний [43].

Экспериментальные исследования на лабораторных животных хоть и имеют меньшую клиническую значимость, но позволяют получить представление о патофизиологии микроциркуляторного русла и протестировать новые диагностические и терапевтические вмешательства перед использованием их в клинической медицине [36]. Экспериментальные модели геморрагического шока демонстрируют, что стандартная инфузионная терапия может нормализовать параметры системной гемодинамики без восстановления микроциркуляторной перфузии, при этом переливание препаратов крови превосходит кристаллоиды в восстановлении микрососудистой функции [66, 67]. Исследования ишемии-реперфузии кишечника у грызунов поддерживают роль окислительного стресса, активации нейтрофилов и эндотелиальной дисфункции в повреждении тканей и развитии органной дисфункции [34].

Доклинические модели резекции печени показывают, что ишемическое прекондиционирование усиливает пострезекционную гиперперфузию печени и уменьшает ишемически-реперфузионное повреждение, опосредованное аденозиновыми рецепторами и оксидом азота (NO) [68]. Фармакологические вмешательства, включая цилостазол, улучшают микроциркуляцию печени, уменьшают стеатоз и ускоряют регенерацию после обширной резекции печени в экспериментальных моделях [69].

В экспериментальной кардиохирургии показано, что искусственное кровообращение вызывает значительную микроциркуляторную дисфункцию, при этом снижение плотности капилляров и неоднородная перфузия способствуют послеоперационному повреждению и дисфункции органов [70]. Оптимизация параметров искусственного кровообращения, включая поддержание пульсирующего потока и предотвращение чрезмерной гемодилюции, снижает повреждение микроциркуляторного русла в доклинических и клинических исследованиях.

Современные подходы к лечению микроциркуляторной дисфункции в хирургии

Инфузионно-трансфузионная терапия занимает центральное место в лечении периферической гипоперфузии и микроциркуляторных нарушений, вызванных гиповолемией (например, при геморрагическом или

септическом шоке). Так называемая «целевая инфузионная терапия» (англ. Goal-Directed Fluid Therapy, GDFT) основана на использовании динамических параметров кровообращения для оценки реакции организма пациента на инфузионную терапию (прирост сердечного выброса, вариации ударного объема, вариации пульсового давления и т.п.) и постоянный мониторинг сердечного выброса для оптимизации внутрисосудистого объема крови. По сравнению с либеральными или рестриктивными подходами с фиксированным объемом инфузии GDFT снижает послеоперационные осложнения, сокращает срок пребывания в стационаре и улучшает микроциркуляторную перфузию [71]. Рандомизированное клиническое исследование показало, что инфузионная терапия с контролем ударного объема и инотропная терапия улучшают общую доставку кислорода, микрососудистый кровоток и оксигенацию тканей после обширных хирургических вмешательств [72].

Выбор оптимального состава инфузионной терапии остается предметом дискуссий [73]. Хотя синтетические коллоиды (в частности, гидроксиэтилкрахмал) эффективно увеличивают внутрисосудистый объем, опасения по поводу нефротоксичности и коагулопатии ограничивают их применение. Сбалансированные электролитные растворы (например, раствор Рингера-лактат, раствор Хартмана) все чаще используются в качестве инфузионной терапии первой линии. Важно отметить, что как кристаллоиды, так и коллоиды при высокообъемной инфузионной терапии могут вызывать разрушение гликокаликса [74].

При недостаточной эффективности инфузионной терапии норадреналин является вазопрессором первой линии при септическом шоке и периоперационной гипотензии, повышая среднее артериальное давление, главным образом за счет α -адренергической вазоконстрикции. Влияние на микроциркуляцию неоднозначное и зависит от клинической ситуации. Раннее введение норадреналина при септическом шоке может улучшить микроциркуляторную перфузию за счет восстановления артериального давления, рекрутирования спавшихся капилляров и предотвращения чрезмерного накопления жидкости. Однако чрезмерные дозы могут усугубить микрососудистую вазоконстрикцию и нарушить перфузию органов, особенно почечного кровотока [75]. Добутамин, агонист β -адренорецепторов, увеличивает сердечный выброс и может улучшать микроциркуляторную перфузию за счет улучшения доставки кислорода. Левосимендан, симбилизатор кальция с инотропными и вазодилатирующими свойствами, также может улучшать микроциркуляцию и снижать уровень лактата при септическом шоке.

Стратегии, направленные на предотвращение деградации гликокаликса или стимулирование его восстановления, представляют собой новые терапевтические направления. Было показано, что введение транексамовой кислоты во время операции уменьшает выделение синдекана-1, потенциально сохраняя целостность гликокаликса [61]. Целенаправленная терапия, исключающая чрезмерное введение жидкости, может ограничить

повреждение гликокаликса, предотвращая дисфункцию эндотелия. К препаратам с прямым действием на микроциркуляторное русло относятся доноры NO (например, нитроглицерин), которые способствуют эндотелиально-зависимой вазодилатации. Цилостазол, ингибитор фосфодиэстеразы-3 с антиагрегантными и вазодилатирующими свойствами, улучшает микроциркуляцию печени и регенерацию тканей при экспериментальной хирургии печени [69]. Оптимизация реологических свойств крови за счет поддержания адекватной концентрации гемоглобина обеспечивает баланс между кислородной емкостью и вязкостью крови. При обширных хирургических вмешательствах ограничительные стратегии переливания (пороговое значение гемоглобина 7–8 г/дл) обычно безопасны, но может быть оправдан индивидуальный подход с учетом состояния микроциркуляции. Острая нормоволемическая гемодилюция путем забора аутологичной крови перед операцией и ее замены кристаллоидами или коллоидами позволяет снизить объем аллогенной гемодилюции, сохраняя при этом приемлемую микроциркуляцию за счет улучшения реологии [66]. Оптимизация сердечного выброса, титрование вазопрессоров и мониторинг микроциркуляции представляют собой будущее периоперационного ведения хирургических пациентов.

Перспективные направления дальнейших исследований

Несмотря на значительные успехи в понимании патофизиологии микроциркуляции и разработке технологий ее оценки, клиническое внедрение этих достижений остается ограниченным. Препятствия включают техническую сложность измерительных устройств, необходимость специализированного обучения, длительность получения и анализа изображений, а также отсутствие утвержденных протоколов терапевтических вмешательств на основе данных о микроциркуляции. Автоматизированные алгоритмы анализа в реальном времени для прижизненной видеомикроскопии устраняют некоторые ограничения, позволяя проводить оценку непосредственно «у постели больного» (например, в операционной или ОРИТ). Разработка портативных устройств нового поколения с упрощенным управлением и интегрированным анализом может способствовать более широкому внедрению этого подхода [70]. Необходимы многоцентровые исследования для валидации терапевтических алгоритмов, ориентированных на микроциркуляцию, для различных групп хирургических пациентов. Интеграция параметров микроциркуляции в клинические рекомендации и подходы персонализированной медицины может снизить риск периоперационных осложнений и улучшить исходы лечения хирургических пациентов [4]. Модели машинного обучения, включающие параметры микроциркуляции наряду с традиционными клиническими параметрами (артериальное давление, лабораторные тесты), также могут улучшить прогнозирование рисков и обеспечить более раннее вмешательство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Микроциркуляторная дисфункция представляет собой важный, но недооцененный фактор, лежащий в основе послеоперационных осложнений в абдоминальной хирургии. Несмотря на достижения в хирургической технике и периоперационной интенсивной терапии, оптимизация системной гемодинамики часто не обеспечивает адекватной перфузии тканей, что приводит к дисфункции органов, осложнениям и неблагоприятным исходам. Частые случаи несоответствия между системной гемодинамикой и микроциркуляторной перфузией требуют прямой оценки микроциркуляции для эффективного выбора терапии. Современные диагностические технологии, включая сублингвальную видеомикроскопию, лазерную флоуметрию и визуализацию, а также биомаркеры эндотелиальной дисфункции, дают врачам возможность визуализации и количественной оценки микроциркуляции у постели больного. Терапевтические подходы, направленные на микроциркуляцию, включая целенаправленную инфузионную терапию, разумное применение вазопрессоров, защиту гликокаликса и фармакологическое улучшение микроциркуляции, демонстрируют многообещающие результаты доклинических и ранних клинических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Куницкий Ю.Л., Колесников А.Н., Харьковский В.А., Христуленко А.А. Хирургический стресс: патогенез и пути реализации. Не разрешенные вопросы. Вестник неотложной и восстановительной хирургии. 2017;2(2–3):278–81.
- 2 Tevis S.E., Cobian A.G., Truong H.P., Craven M.W., Kennedy G.D. Implications of multiple complications on the postoperative recovery of general surgery patients. *Ann Surg.* 2016;263(6):1213–8. DOI: 10.1097/SLA.0000000000001390
- 3 Yadeta D.A., Manyazewal T., Demessie D.B., Kleive D. Incidence and predictors of postoperative complications in Sub-Saharan Africa: a systematic review and meta-analysis. *Front Health Serv.* 2024;4:1353788. DOI: 10.3389/frhs.2024.1353788
- 4 Nam K., Jeon Y. Microcirculation during surgery. *Anesth Pain Med.* 2022;17(1):24–34. DOI: 10.17085/apm.22127
- 5 Баширова Л.И., Сафонов А.С., Камилова Р.Р., Липатов Д.О., Бакиров А.А., Самородов А.В. Коррекция нутритивной недостаточности пациентов с раком яичников на фоне хирургического лечения. Клинический случай. Креативная хирургия и онкология. 2022;12(1):81–6. DOI: 10.24060/2076-3093-2022-12-1-81-86
- 6 Kanemoto M., Ida M., Naito Y., Kawaguchi M. The impact of preoperative nutrition status on abdominal surgery outcomes: A prospective cohort study. *Nutr Clin Pract.* 2023;38(3):628–35. DOI: 10.1002/npc.10932
- 7 Aksu U., Yavuz-Aksu B., Goswami N. Microcirculation: current perspective in diagnostics, imaging, and clinical applications. *J Clin Med.* 2024;13(22):6762. DOI: 10.3390/jcm13226762
- 8 Donati A., Domizi R., Damiani E., Adrario E., Pelaia P., Ince C. From macrohemodynamic to the microcirculation. *Crit Care Res Pract.* 2013;2013:1–8. DOI: 10.1155/2013/892710
- 9 Ince C. Hemodynamic coherence and the rationale for monitoring the microcirculation. *Crit Care.* 2015;19(S3):S8. DOI: 10.1186/cc14726
- 10 Downey C.L., Bainbridge J., Jayne D.G., Meads D.M. Impact of in-hospital postoperative complications on quality of life up to 12 months after major abdominal surgery. *Br J Surg.* 2023;110(9):1206–12. DOI: 10.1093/bjs/znad167
- 11 Van Hootegem S.J.M., Van Der Linde M., Schneider M.A., Kim J., Berthel F., Sugita Y., et al. Impact of postoperative complications on clinical outcomes after gastrectomy for cancer: multicentre study. *Br J Surg.* 2025;112(4):znaf043. DOI: 10.1093/bjs/znaf043
- 12 Kirchoff P., Clavien P.A., Hahnloser D. Complications in colorectal surgery: risk factors and preventive strategies. *Patient Saf Surg.* 2010;4(1):5. DOI: 10.1186/1754-9493-4-5

- 13 Staiger R.D., Gerns E., Castrejón Subirà M., Domenghino A., Puhán M.A., Clavien P.A. Can early postoperative complications predict high morbidity and decrease failure to rescue following major abdominal surgery? *Ann Surg.* 2020;272(5):834–9. DOI: 10.1097/SLA.0000000000004254
- 14 Shimada H., Fukagawa T., Haga Y., Oba K. Does postoperative morbidity worsen the oncological outcome after radical surgery for gastrointestinal cancers? A systematic review of the literature. *Ann Gastroenterol Surg.* 2017;1(1):11–23. DOI: 10.1002/ags3.12002
- 15 Самородов А.В., Ураков А.Л., Золотухин К.Н., Дашкин Р.Р., Исмаилов Н.Г., Абубакирова А.И., и др. Клинический и патологоанатомический анализ причин внезапной смерти после планового хирургического лечения. Креативная хирургия и онкология. 2020;10(2):154–61. DOI: 10.24060/2076-3093-2020-10-2-154-161
- 16 Wang S., Xu L., Wang Q., Li J., Bai B., Li Z., et al. Postoperative complications and prognosis after radical gastrectomy for gastric cancer: a systematic review and meta-analysis of observational studies. *World J Surg Oncol.* 2019;17(1):52. DOI: 10.1186/s12957-019-1593-9
- 17 Shibasaki S., Suda K., Nakauchi M., Nakamura K., Kikuchi K., Inaba K., et al. Non-robotic minimally invasive gastrectomy as an independent risk factor for postoperative intra-abdominal infectious complications: A single-center, retrospective and propensity score-matched analysis. *World J Gastroenterol.* 2020;26(11):1172–84. DOI: 10.3748/wjg.v26.i11.1172
- 18 Skinner G.C., Liu Y.Z., Harzman A.E., Husain S.G., Gasior A.C., Cunningham L.A., et al. Clinical utility of laser speckle contrast imaging and real-time quantification of bowel perfusion in minimally invasive left-sided colorectal resections. *Dis Colon Rectum.* 2024;67(6):850–9. DOI: 10.1097/DCR.0000000000003098
- 19 Hackert T., Klaiber U., Hinz U., Strunk S., Loos M., Strobel O., et al. Portal vein resection in pancreatic cancer surgery: risk of thrombosis and radicality determine survival. *Ann Surg.* 2023;277(6):e1291–8. DOI: 10.1097/SLA.0000000000005444
- 20 Van Riel W.G., van Golen R.E., Reiniens M.J., Heger M., van Gulik T.M. How much ischemia can the liver tolerate during resection? *Hepatobiliary Surg Nutr.* 2016;5(1):58–71. DOI: 10.3978/j.issn.2304-3881.2015.07.05
- 21 Christ B., Collatz M., Dahmen U., Herrmann K.H., Höpfel S., König M., et al. Hepatectomy-induced alterations in hepatic perfusion and function — toward multi-scale computational modeling for a better prediction of post-hepatectomy liver function. *Front Physiol.* 2021;12:733868. DOI: 10.3389/fphys.2021.733868
- 22 Choi H., Hwang W. Perioperative inflammatory response and cancer recurrence in lung cancer surgery: a narrative review. *Front Surg.* 2022;9:888630. DOI: 10.3389/fsurg.2022.888630
- 23 Золотухин К.Н., Крюгер Ф., Самородов А.В. Низкий уровень антитромбина III как предиктор развития тромботических осложнений у пациентов хирургического профиля. Креативная хирургия и онкология. 2018;8(1):52–6. DOI: 10.24060/2076-3093-2018-8-1-52-56
- 24 Ylimartimo A.T., Nurkkala J., Koskela M., Lahtinen S., Kaakinen T., Vakkala M., et al. Postoperative complications and outcome after emergency laparotomy: a retrospective study. *World J Surg.* 2023;47(1):119–29. DOI: 10.1007/s00268-022-06783-8
- 25 Григорьев Е. В., Лебединский К. М., Щеголев А. В., Бобовник С. В., Буланов А. Ю., Заболотских И. Б. и др. Реанимация и интенсивная терапия при острой массивной кровопотере у взрослых пациентов. Анестезиология и реаниматология. 2020;15–24. DOI: 10.17116/anaesthesiology20200115.
- 26 Harrois A., Tanaka S., Duranteau J. The Microcirculation in hemorrhagic shock. In: Vincent J.L., ed. *Annual update in intensive care and emergency medicine* 2013. Berlin: Springer; 2013. P. 277–89. DOI: 10.1007/978-3-642-35109-9_22
- 27 Knežević D., Batičić L., Čurko-Cofek B., Batinac T., Ljubačev A., Valenčić Seršić L., et al. The effect of coronary artery bypass surgery on interleukin-18 concentration and biomarkers related to vascular endothelial glycocalyx degradation. *Int J Mol Sci.* 2025;26(12):5453. DOI: 0.3390/ijms26125453
- 28 Kim H.B., Soh S., Kwak Y.L., Bae J.C., Kang S.H., Song J.W. High preoperative serum syndecan-1, a marker of endothelial glycocalyx degradation, and severe acute kidney injury after valvular heart surgery. *J Clin Med.* 2020;9(6):1803. DOI: 10.3390/jcm9061803
- 29 Heizmann O. Ischemic preconditioning-induced hyperperfusion correlates with hepatoprotection after liver resection. *World J Gastroenterol.* 2010;16(15):1871. DOI: 10.3748/wjg.v16.i15.1871
- 30 Toh C., Toh J.M.H., Abrams S.T. Disseminated intravascular coagulation — what can we do? *HemaSphere.* 2019;3(S2):92–4. DOI: 10.1097/HS9.0000000000000232
- 31 Assimakopoulos S.F., Triantos C., Thomopoulos K., Fligou F., Maroulis I., Marangos M., et al. Gut-origin sepsis in the critically ill patient: pathophysiology and treatment. *Infection.* 2018;46(6):751–60. DOI: 10.1007/s15010-018-1178-5
- 32 Alhamdi Y., Toh C.H. Recent advances in pathophysiology of disseminated intravascular coagulation: the role of circulating histones and neutrophil extracellular traps. *F1000Research.* 2017;6:2143. DOI: 10.12688/f1000research.12498.1
- 33 Chatpun S., Cabrales P. Effects of plasma viscosity modulation on cardiac function during moderate hemodilution. *Asian J Transfus Sci.* 2010;4(2):102. DOI: 10.4103/0973-6247.67034
- 34 Vollmar B., Menger M.D. Intestinal ischemia/reperfusion: microcirculatory pathology and functional consequences. *Langenbecks Arch Surg.* 2011;396(1):13–29. DOI: 10.1007/s00423-010-0727-x
- 35 Захаренко А.А., Беляев М.А., Трушин А.А., Зайцев Д.А., Курсенко Р.В., Сидоров В.В. и др. Комбинированная оценка жизнеспособности кишки методами лазерной доплеровской флоуметрии и лазерной флуоресцентной спектроскопии. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2021;20(2):70–6. DOI: 10.24884/1682-6655-2021-20-2-70-76
- 36 Heeman W., Wildeboer A.C.L., Al-Taher M., Calon J.E.M., Stassen L.P.S., Diana M., et al. Experimental evaluation of laparoscopic laser speckle contrast imaging to visualize perfusion deficits during intestinal surgery. *Surg Endosc.* 2023;37(2):950–7. DOI: 10.1007/s00464-022-09536-9
- 37 Holländer S., Von Heesen M., Gäbelein G., Mercier J., Laschke M.W., Menger M.D., et al. Perioperative treatment with cilostazol reverses steatosis and improves liver regeneration after major hepatectomy in a steatotic rat model. *Sci Rep.* 2025;15(1):2753. DOI: 10.1038/s41598-025-87135-z
- 38 Dang P.T., Lopez B.E., Togashi K. A Decrease in effective renal perfusion pressure is associated with increased acute kidney injury in patients undergoing cardiac surgery. *Cureus.* 2023;15(9):e45036. DOI: 10.7759/cureus.45036
- 39 Yu Y., Li C., Zhu S., Jin L., Hu Y., Ling X., et al. Diagnosis, pathophysiology and preventive strategies for cardiac surgery-associated acute kidney injury: a narrative review. *Eur J Med Res.* 2023;28(1):45. DOI: 10.1186/s40001-023-00990-2
- 40 Мороз В.В., Рязков И.А. Острая кровопотеря: регионарный кровоток и микроциркуляция (Обзор, Часть II). Общая реаниматология. 2016;12(5):65–94. DOI: 10.15360/1813-9779-2016-5-65-94
- 41 Ince C., Boerma E.C., Cecconi M., De Backer D., Shapiro N.I., Duran-teau J., et al. Cardiovascular dynamics section of the ESICM. Second consensus on the assessment of sublingual microcirculation in critically ill patients: results from a task force of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med.* 2018;44(3):281–99. DOI: 10.1007/s00134-018-5070-7
- 42 Flick M., Jannsen G.P., Krause L., Montomoli J., Pollok F., Moll-Khosrawi P., et al. The effect of major abdominal surgery on the sublingual microcirculation: an observational study. *Can J Anesth Can Anesth.* 2025;72(5):768–79. DOI: 10.1007/s12630-025-02941-3
- 43 Bruno R.R., Wollborn J., Fengler K., Flick M., Wunder C., Allgauer S., et al. Direct assessment of microcirculation in shock: a randomized-controlled multicenter study. *Intensive Care Med.* 2023;49(6):645–55. DOI: 10.1007/s00134-023-07098-5
- 44 Wagner M., Anzinger E., Hey F., Reiter K., Wermelt J.Z., Pastor-Villaescusa B., et al. Monitoring of the microcirculation in children undergoing major abdominal and thoracic surgery: A pilot study. *Clin Hemorheol Microcirc.* 2023;83(3):217–29. DOI: 10.3233/CH-221617
- 45 Liu Y.Z., Shah S.K., Sanders C.M., Nwaiwu C.A., Dechert A.F., Mehrotra S., et al. Utility and usability of laser speckle contrast imaging (LSCI) for displaying real-time tissue perfusion/blood flow in robot-assisted surgery (RAS): comparison to indocyanine green (ICG) and use in laparoscopic surgery. *Surg Endosc.* 2023;37(6):4803–11. DOI: 10.1007/s00464-022-09590-3
- 46 Tavy A.L., De Bruin A.F., Boerma E.C., Ince C., Hilty M.P., Noordzij P.G., et al. Association between serosal intestinal microcirculation and blood pressure during major abdominal surgery. *J Intensive Care Med.* 2021 July;1(1):59–64. DOI: 10.1016/j.jointm.2021.03.003
- 47 Крупаткин А.И., Сидоров В.В. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: Колебания, информация, нелинейность (Руководство для врачей). М.: ЛИБРОКОМ; 2013.
- 48 Cracowski J., Roustit M. Current methods to assess human cutaneous blood flow: an updated focus on laser-based-techniques. *Microcirculation.* 2016;23(5):337–44. DOI: 10.1111/micc.12257

- 49 Косовских А.А., Кан С.Л., Чурляев Ю.А., Золоева О.С., Баранов А.А., Крутляков О.О. Функциональное состояние микроциркуляции кишечника при разлитом перитоните. *Общая реаниматология*. 2012;8(2):33. DOI: 10.15360/1813-9779-2012-2-33
- 50 Ладожская-Гапенко Е. Е. Дисфункция микроциркуляции при критических состояниях (обзор литературы). *Вестник анестезиологии и реаниматологии*. 2024;21(6):116–21. DOI: 10.24884/2078-5658-2024-21-6-116-121
- 51 Медведев К.И., Завьялов А.А. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке состояния микроциркуляторного русла у пациентов с онкологическими заболеваниями. *Клинический вестник ФМБЦ им. А.И. Бурназяна*. 2025;3:62–6. DOI: 10.33266/2782-6430-2025-3-62-66
- 52 Guven G., Dijkstra A., Kuijper T.M., Trommel N., Van Baar M.E., Topeli A., et al. Comparison of laser speckle contrast imaging with laser Doppler perfusion imaging for tissue perfusion measurement. *Microcirculation*. 2023;30(1):e12795. DOI: 10.1111/micc.12795
- 53 Рыжков И.А., Голубова Н.В., Лапин К.Н., Калабушев С.Н., Дрёмин В.В., Потапова Е.В., и др. Параметры микроциркуляции в коже как диагностические маркеры нарушения центрального и церебрального кровообращения при геморрагическом шоке. *Общая реаниматология*. 2025;21(3):11–25. DOI: 10.15360/1813-9779-2025-3-2559
- 54 Paramasivam R., Jaensch C., Madsen A.H., Ørntoft M.W. Intraoperative assessment of anastomotic microcirculation during right hemicolectomy with real-time laser speckle contrast imaging is safe and feasible. *Colorectal Dis*. 2025 July;27(7):e70162. DOI: 10.1111/codi.70162
- 55 Baiocchi G.L., Diana M., Boni L. Indocyanine green-based fluorescence imaging in visceral and hepatobiliary and pancreatic surgery: State of the art and future directions. *World J Gastroenterol*. 2018;24(27):2921–30. DOI: 10.3748/wjg.v24.i27.2921
- 56 De Backer D., Ospina-Tascón G., Salgado D., Favory R., Creteur J., Vincent J.L. Monitoring the microcirculation in the critically ill patient: current methods and future approaches. *Intensive Care Med*. 2010;36(11):1813–25. DOI: 10.1007/s00134-010-2005-3
- 57 Li B., Dai Y., Cai W., Sun M., Sun J. Monitoring of perioperative tissue perfusion and impact on patient outcomes. *J Cardiothorac Surg*. 2025;20(1):100. DOI: 10.1186/s13019-025-03353-6
- 58 Hernández G., Ospina-Tascón G.A., Damiani L.P., Estenssoro E., Dubin A., Hurtado J., et al. Effect of a resuscitation strategy targeting peripheral perfusion status vs serum lactate levels on 28-day mortality among patients with septic shock: The ANDROMEDA-SHOCK Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2019;321(7):654. DOI: 10.1001/jama.2019.0071
- 59 Wittayachamnankul B., Chentanakij B., Sruamsiri K., Chattipakorn N. The role of central venous oxygen saturation, blood lactate, and central venous-to-arterial carbon dioxide partial pressure difference as a goal and prognosis of sepsis treatment. *J Crit Care*. 2016;36:223–9. DOI: 10.1016/j.jcrc.2016.08.002
- 60 Суфияров И.Ф., Хасанов А.Г., Нуртдинов М.А., Самородов А.В., Ямалова Г.Р. Высокий уровень гликозаминогликанов сыворотки крови как независимый предиктор развития спячной болезни брюшины. *Креативная хирургия и онкология*. 2017;7(2):48–53. DOI: 10.24060/2076-3093-2017-7-2-48-53
- 61 Kim H.J., Lee B., Lee B.H., Kim S.Y., Jun B., Choi Y.S. The effect of tranexamic acid administration on early endothelial damage following posterior lumbar fusion surgery. *J Clin Med*. 2021;10(7):1415. DOI: 10.3390/jcm10071415
- 62 Weinberg L., Yanase F., Tosif S., Riedel B., Bellomo R., Hahn R.G. Trajectory of plasma syndecan-1 and heparan sulphate during major surgery: A retrospective observational study. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2023;67(1):4–11. DOI: 10.1111/aas.14150
- 63 Eriksson S., Jan N., Gert L., Stureson C. Laser speckle contrast imaging for intraoperative assessment of liver microcirculation: a clinical pilot study. *Med Devices Evid Res*. 2014;7:257–61. DOI: 10.2147/MDER.S63393
- 64 Yajnik V., Maarouf R. Sepsis and the microcirculation: the impact on outcomes. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2022;35(2):230–5. DOI: 10.1097/ACO.0000000000001098
- 65 Trzeciak S., McCoy J.V., Phillip Dellinger R., Arnold R.C., Rizzuto M., Abate N.L., et al. Early increases in microcirculatory perfusion during protocol-directed resuscitation are associated with reduced multi-organ failure at 24 h in patients with sepsis. *Intensive Care Med*. 2008;34(12):2210–7. DOI: 10.1007/s00134-008-1193-6
- 66 Cabrales P., Intaglietta M., Tsai A.G. Transfusion restores blood viscosity and reinstates microvascular conditions from hemorrhagic shock independent of oxygen carrying capacity. *Resuscitation*. 2007;75(1):124–34. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2007.03.010
- 67 Van Leeuwen A.L.J., Dekker N.A.M., Jansma E.P., Boer C., Van Den Brom C.E. Therapeutic interventions to restore microcirculatory perfusion following experimental hemorrhagic shock and fluid resuscitation: A systematic review. *Microcirculation*. 2020;27(8):e12650. DOI: 10.1111/micc.12650
- 68 Robertson F., Fuller B., Davidson B. An evaluation of ischaemic preconditioning as a method of reducing ischaemia reperfusion injury in liver surgery and transplantation. *J Clin Med*. 2017;6(7):69. DOI: 10.3390/jcm6070069
- 69 Von Heesen M., Dold S., Müller S., Scheuer C., Kollmar O., Schilling M.K., et al. Cilostazol improves hepatic blood perfusion, microcirculation, and liver regeneration after major hepatectomy in rats. *Liver Transpl*. 2015;21(6):792–800. DOI: 10.1002/lt.24114
- 70 Flick M., Duranteau J., Scheeren T.W.L., Saugel B. Monitoring of the sublingual microcirculation during cardiac surgery: current knowledge and future directions. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2020;34(10):2754–65. DOI: 10.1053/j.jvca.2019.10.038
- 71 Bednarczyk J.M., Fridfinnson J.A., Kumar A., Blanchard L., Rabbani R., Bell D., et al. Incorporating dynamic assessment of fluid responsiveness into goal-directed therapy: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care Med*. 2017;45(9):1538–45. DOI: 10.1097/CCM.0000000000002554
- 72 Jhanji S., Vivian-Smith A., Lucena-Amaro S., Watson D., Hinds C.J., Pearce R.M. Haemodynamic optimisation improves tissue microvascular flow and oxygenation after major surgery: a randomised controlled trial. *Crit Care*. 2010;14(4):R151. DOI: 10.1186/cc9220
- 73 Ryzhkov I., Lapin K., Tsokolova Z., Kalabushev S., Ostrova I., Ershov A., et al. Microvascular and metabolic effects of a balanced electrolyte solution and heparinized autologous blood in hemorrhagic shock. *Archiv EuroMedica*. 2022;12(3):e1. DOI: 10.35630/2199-885X/2022/12/3.10
- 74 László I., Janovszky Á., Lovas A., Vargán V., Öveges N., Tánzos T., et al. Effects of goal-directed crystalloid vs. colloid fluid therapy on microcirculation during free flap surgery: A randomised clinical trial. *Eur J Anaesthesiol*. 2019;36(8):592–604. DOI: 10.1097/EJA.0000000000001024
- 75 Ruslan M., Baharuddin K., Noor N., Yazid M., Md Noh A.Y., Rahman A. Norepinephrine in Septic Shock: A Systematic Review and Meta-analysis. *West J Emerg Med*. 2021;22(2):196–203. DOI: 10.5811/westjem.2020.10.47825

REFERENCES

- Kunitskiy Yu.L., Kolesnikov A.N., Khar'kovskiy V.A., Khristulenko A.A. Surgical stress: pathogenesis and pathways. Unresolved issues. *Bulletin of urgent and recovery surgery*. 2017;2(2-3):278–81 (In Russ.).
- Tevis S.E., Cobian A.G., Truong H.P., Craven M.W., Kennedy G.D. Implications of multiple complications on the postoperative recovery of general surgery patients. *Ann Surg*. 2016;263(6):1213–8. DOI: 10.1097/SLA.0000000000001390
- Yadeta D.A., Manyazewal T., Demessie D.B., Kleive D. Incidence and predictors of postoperative complications in Sub-Saharan Africa: a systematic review and meta-analysis. *Front Health Serv*. 2024;4:1353788. DOI: 10.3389/frhs.2024.1353788
- Nam K., Jeon Y. Microcirculation during surgery. *Anesth Pain Med*. 2022;17(1):24–34. DOI: 10.17085/apm.22127
- Bashirova L.I., Safonov A.S., Kamilova R.R., Lipatov D.O., Bakirov A.A., Samorodov A.V. Nutrient deficiency correction in ovarian cancer patients following surgical treatment: a clinical case. *Creative surgery and oncology*. 2022;12(1):81–6 (In Russ.). DOI: 10.24060/2076-3093-2022-12-1-81-86
- Kanemoto M., Ida M., Naito Y., Kawaguchi M. The impact of preoperative nutrition status on abdominal surgery outcomes: A prospective cohort study. *Nutr Clin Pract*. 2023;38(3):628–35. DOI: 10.1002/ncp.10932
- Aksu U., Yavuz-Aksu B., Goswami N. Microcirculation: current perspective in diagnostics, imaging, and clinical applications. *J Clin Med*. 2024;13(22):6762. DOI: 10.3390/jcm13226762
- Donati A., Domizi R., Damiani E., Adrario E., Pelaia P., Ince C. From macrohemodynamic to the microcirculation. *Crit Care Res Pract*. 2013;2013:1–8. DOI: 10.1155/2013/892710
- Ince C. Hemodynamic coherence and the rationale for monitoring the microcirculation. *Crit Care*. 2015;19(S3):S8. DOI: 10.1186/cc14726
- Downey C.L., Bainbridge J., Jayne D.G., Meads D.M. Impact of in-hospital postoperative complications on quality of life up to 12 months

- after major abdominal surgery. *Br J Surg.* 2023;110(9):1206–12. DOI: 10.1093/bjts/znad167
- 11 Van Hooftgem S.J.M., Van Der Linde M., Schneider M.A., Kim J., Berlth F., Sugita Y., et al. Impact of postoperative complications on clinical outcomes after gastrectomy for cancer: multicentre study. *Br J Surg.* 2025;112(4):znaf043. DOI: 10.1093/bjts/znaf043
 - 12 Kirchhoff P., Clavien P.A., Hahnloser D. Complications in colorectal surgery: risk factors and preventive strategies. *Patient Saf Surg.* 2010;4(1):5. DOI: 10.1186/1754-9493-4-5
 - 13 Staiger R.D., Gerns E., Castrejón Subirà M., Domenghino A., Puhan M.A., Clavien P.A. Can early postoperative complications predict high morbidity and decrease failure to rescue following major abdominal surgery? *Ann Surg.* 2020;272(5):834–9. DOI: 10.1097/SLA.0000000000004254
 - 14 Shimada H., Fukagawa T., Haga Y., Oba K. Does postoperative morbidity worsen the oncological outcome after radical surgery for gastrointestinal cancers? A systematic review of the literature. *Ann Gastroenterol Surg.* 2017;1(1):11–23. DOI: 10.1002/ags3.12002
 - 15 Samorodov A.V., Urakov A.L., Zolotukhin K.N., Dashkin R.R., Ismagilov N.G., Abubakirova A.I., et al. Clinical and pathological analysis of sudden death after planned surgery. *Creative surgery and oncology.* 2020;10(2):154–61 (In Russ.). DOI: 10.24060/2076-3093-2020-10-2-154-161
 - 16 Wang S., Xu L., Wang Q., Li J., Bai B., Li Z., et al. Postoperative complications and prognosis after radical gastrectomy for gastric cancer: a systematic review and meta-analysis of observational studies. *World J Surg Oncol.* 2019;17(1):52. DOI: 10.1186/s12957-019-1593-9
 - 17 Shibasaki S., Suda K., Nakauchi M., Nakamura K., Kikuchi K., Inaba K., et al. Non-robotic minimally invasive gastrectomy as an independent risk factor for postoperative intra-abdominal infectious complications: A single-center, retrospective and propensity score-matched analysis. *World J Gastroenterol.* 2020;26(11):1172–84. DOI: 10.3748/wjg.v26.i11.1172
 - 18 Skinner G.C., Liu Y.Z., Harzman A.E., Husain S.G., Gasior A.C., Cunningham L.A., et al. Clinical utility of laser speckle contrast imaging and real-time quantification of bowel perfusion in minimally invasive left-sided colorectal resections. *Dis Colon Rectum.* 2024;67(6):850–9. DOI: 10.1097/DCR.0000000000003098
 - 19 Hackert T., Klaißer U., Hinz U., Strunk S., Loos M., Strobel O., et al. Portal vein resection in pancreatic cancer surgery: risk of thrombosis and radicality determine survival. *Ann Surg.* 2023;277(6):e1291–8. DOI: 10.1097/SLA.0000000000005444
 - 20 Van Riel W.G., van Golen R.F., Reiniens M.J., Heger M., van Gulik T.M. How much ischemia can the liver tolerate during resection? *Hepatobiliary Surg Nutr.* 2016;5(1):58–71. DOI: 10.3978/j.issn.2304-3881.2015.07.05
 - 21 Christ B., Collatz M., Dahmen U., Herrmann K.H., Höpfel S., König M., et al. Hepatectomy-induced alterations in hepatic perfusion and function — toward multi-scale computational modeling for a better prediction of post-hepatectomy liver function. *Front Physiol.* 2021;12:733868. DOI: 10.3389/fphys.2021.733868
 - 22 Choi H., Hwang W. Perioperative inflammatory response and cancer recurrence in lung cancer surgery: a narrative review. *Front Surg.* 2022;9:888630. DOI: 10.3389/fsurg.2022.888630
 - 23 Zolotukhin K.N., Krüger P., Samorodov A.V. Low level of antithrombin III as a warning sign for developing thrombotic complications in surgical patients. *Creative surgery and oncology.* 2018;8(1):52–6 (n Russ.). DOI: 10.24060/2076-3093-2018-8-1-52-56
 - 24 Ylimartimo A.T., Nurkkala J., Koskela M., Lahtinen S., Kaakinen T., Vakkala M., et al. Postoperative complications and outcome after emergency laparotomy: a retrospective study. *World J Surg.* 2023;47(1):119–29. DOI: 10.1007/s00268-022-06783-8
 - 25 Grigor'ev V., Lebedinskii K.M., Schegolev A.V., et al. Resuscitation and intensive care in acute massive blood loss in adults (clinical guidelines). *Russian Journal of Anesthesiology and Reanimatology.* 2020;1:5–24 (In Russ.). DOI: 10.17116/anaesthesiology20200115
 - 26 Harrois A., Tanaka S., Duranteau J. The Microcirculation in hemorrhagic shock. In: Vincent J.L., ed. *Annual update in intensive care and emergency medicine* 2013. Berlin: Springer; 2013. P. 277–89. DOI: 10.1007/978-3-642-35109-9_22
 - 27 Knežević D., Batičić L., Čurko-Cofek B., Batinac T., Ljubačev A., Valenčić Seršić L., et al. The effect of coronary artery bypass surgery on interleukin-18 concentration and biomarkers related to vascular endothelial glycocalyx degradation. *Int J Mol Sci.* 2025;26(12):5453. DOI: 10.3390/ijms26125453
 - 28 Kim H.B., Soh S., Kwak Y.L., Bae J.C., Kang S.H., Song J.W. High preoperative serum syndecan-1, a marker of endothelial glycocalyx degradation, and severe acute kidney injury after valvular heart surgery. *J Clin Med.* 2020;9(6):1803. DOI: 10.3390/jcm9061803
 - 29 Heizmann O. Ischemic preconditioning-induced hyperperfusion correlates with hepatoprotection after liver resection. *World J Gastroenterol.* 2010;16(15):1871. DOI: 10.3748/wjg.v16.i15.1871
 - 30 Toh C., Toh J.M.H., Abrams S.T. Disseminated intravascular coagulation — what can we do? *HemaSphere.* 2019;3(S2):92–4. DOI: 10.1097/HS9.0000000000000232
 - 31 Assimakopoulos S.F., Triantos C., Thomopoulos K., Fligou F., Maroulis I., Marangos M., et al. Gut-origin sepsis in the critically ill patient: pathophysiology and treatment. *Infection.* 2018;46(6):751–60. DOI: 10.1007/s15010-018-1178-5
 - 32 Alhamdi Y., Toh C.H. Recent advances in pathophysiology of disseminated intravascular coagulation: the role of circulating histones and neutrophil extracellular traps. *F1000Research.* 2017;6:2143. DOI: 10.12688/f1000research.12498.1
 - 33 Chatpun S., Cabrales P. Effects of plasma viscosity modulation on cardiac function during moderate hemodilution. *Asian J Transfus Sci.* 2010;4(2):102. DOI: 10.4103/0973-6247.67034
 - 34 Vollmar B., Menger M.D. Intestinal ischemia/reperfusion: microcirculatory pathology and functional consequences. *Langenbecks Arch Surg.* 2011;396(1):13–29. DOI: 10.1007/s00423-010-0727-x
 - 35 Zacharenko A.A., Belyaev M.A., Trushin A.A., Zaytcev D.A., Kursenko R.V., Sidorov V.V., et al. Combined assessment of intestinal viability using laser doppler flowmetry and laser fluorescence spectroscopy. *Regional blood circulation and microcirculation.* 2021;20(2):70–6 (In Russ.). DOI: 10.24884/1682-6655-2021-20-2-70-76
 - 36 Heeman W., Wildeboer A.C.L., Al-Tajer M., Calon J.E.M., Stassen L.P.S., Diana M., et al. Experimental evaluation of laparoscopic laser speckle contrast imaging to visualize perfusion deficits during intestinal surgery. *Surg Endosc.* 2023;37(2):950–7. DOI: 10.1007/s00464-022-09536-9
 - 37 Holländer S., Von Heesen M., Gäbelein G., Mercier J., Laschke M.W., Menger M.D., et al. Perioperative treatment with cilostazol reverses steatosis and improves liver regeneration after major hepatectomy in a steatotic rat model. *Sci Rep.* 2025;15(1):2753. DOI: 10.1038/s41598-025-87135-z
 - 38 Dang P.T., Lopez B.E., Togashi K. A Decrease in effective renal perfusion pressure is associated with increased acute kidney injury in patients undergoing cardiac surgery. *Cureus.* 2023;15(9):e45036 DOI: 10.7759/cureus.45036
 - 39 Yu Y., Li C., Zhu S., Jin L., Hu Y., Ling X., et al. Diagnosis, pathophysiology and preventive strategies for cardiac surgery-associated acute kidney injury: a narrative review. *Eur J Med Res.* 2023;28(1):45. DOI: 10.1186/s40001-023-00990-2
 - 40 Moroz V.V., Ryzhkov I.A. Acute blood loss: regional blood flow and microcirculation (review, part II). *General reanimatology.* 2016;12(5):65–94 (In Russ.). DOI: 10.15360/1813-9779-2016-5-65-94
 - 41 Ince C., Boerma E.C., Cecconi M., De Backer D., Shapiro N.I., Duran-teau J., et al. Cardiovascular dynamics section of the ESICM. Second consensus on the assessment of sublingual microcirculation in critically ill patients: results from a task force of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med.* 2018;44(3):281–99. DOI: 10.1007/s00134-018-5070-7
 - 42 Flick M., Jannsen G.P., Krause L., Montomoli J., Pollok F., Moll-Khosrawi P., et al. The effect of major abdominal surgery on the sublingual microcirculation: an observational study. *Can J Anesth Can Anesth.* 2025;72(5):768–79. DOI: 10.1007/s12630-025-02941-3
 - 43 Bruno R.R., Wollborn J., Fengler K., Flick M., Wunder C., Allgäuer S., et al. Direct assessment of microcirculation in shock: a randomized-controlled multicenter study. *Intensive Care Med.* 2023;49(6):645–55. DOI: 10.1007/s00134-023-07098-5
 - 44 Wagner M., Anzinger E., Hey F., Reiter K., Wermelt J.Z., Pastor-Villaescusa B., et al. Monitoring of the microcirculation in children undergoing major abdominal and thoracic surgery: A pilot study. *Clin Hemorheol Microcirc.* 2023;83(3):217–29. DOI: 10.3233/CH-221617
 - 45 Liu Y.Z., Shah S.K., Sanders C.M., Nwaiwu C.A., Dechert A.F., Mehrotra S., et al. Utility and usability of laser speckle contrast imaging (LSCI) for displaying real-time tissue perfusion/blood flow in robot-assisted surgery (RAS): comparison to indocyanine green (ICG) and use in laparoscopic surgery. *Surg Endosc.* 2023;37(6):4803–11. DOI: 10.1007/s00464-022-09590-3
 - 46 Tavy A.L., De Bruin A.F., Boerma E.C., Ince C., Hilty M.P., Noordzij P.G., et al. Association between serosal intestinal microcirculation and blood pressure during major abdominal surgery. *J Intensive Med.* 2021 July;1(1):59–64. DOI: 10.1016/j.jointm.2021.03.003

- 47 Krupatkin A.I., Sidorov V.V. Functional diagnostics of the state of microcirculatory-tissue systems: Oscillations, information, nonlinearity (Physician's Guide). M.: LIBROKOM; 2013 (In Russ.).
- 48 Cracowski J., Roustit M. Current methods to assess human cutaneous blood flow: an updated focus on laser-based-techniques. *Microcirculation*. 2016;23(5):337–44. DOI: 10.1111/micc.12257
- 49 Kosovskikh A.A., Kan S.L., Churlyayev Yu.A., Zoloyeva O.S., Baranov A.A., Kruglyakov O.O. The Functional state of intestinal microcirculation in diffuse peritonitis. *General Reanimatology*. 2012;8(2):33 (In Russ.). DOI: 10.15360/1813-9779-2012-2-33
- 50 Ladozhskaya-Gapeenko E.E. Microcirculation dysfunction in critical conditions (literature review). *Messenger of anesthesiology and resuscitation*. 2024;21(6):116–21 (In Russ.). DOI: 10.24884/2078-5658-2024-21-6-116-121
- 51 Medvedev K.I., Zavialov A. A. Functional disorders after mastectomy. Methods for their correction. A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center Clinical Bulletin. 2025;3:62–6 (In Russ.). DOI: 10.33266/2782-6430-2025-3-62-66
- 52 Guven G., Dijkstra A., Kuijper T.M., Trommel N., Van Baar M.E., Topeli A., et al. Comparison of laser speckle contrast imaging with laser Doppler perfusion imaging for tissue perfusion measurement. *Microcirculation*. 2023;30(1):e12795. DOI: 10.1111/micc.12795
- 53 Ryzhkov I.A., Golubova N.V., Lapin K.N., Kalabushev S.N., Dremmin V.V., Potapova E.V., et al. Skin microcirculatory parameters as diagnostic markers of central and cerebral circulatory disorders in hemorrhagic shock. *General Reanimatology*. 2025;21(3):11–25 (In Russ.). DOI: 10.15360/1813-9779-2025-3-2559
- 54 Paramasivam R., Jaensch C., Madsen A.H., Ørntoft M.W. Intraoperative assessment of anastomotic microcirculation during right hemicolectomy with real-time laser speckle contrast imaging is safe and feasible. *Colorectal Dis*. 2025 July;27(7):e70162. DOI: 10.1111/codi.70162
- 55 Baiocchi G.L., Diana M., Boni L. Indocyanine green-based fluorescence imaging in visceral and hepatobiliary and pancreatic surgery: State of the art and future directions. *World J Gastroenterol*. 2018;24(27):2921–30. DOI: 10.3748/wjg.v24.i27.2921
- 56 De Backer D., Ospina-Tascón G., Salgado D., Favory R., Creteur J., Vincent J.L. Monitoring the microcirculation in the critically ill patient: current methods and future approaches. *Intensive Care Med*. 2010;36(11):1813–25. DOI: 10.1007/s00134-010-2005-3
- 57 Li B., Dai Y., Cai W., Sun M., Sun J. Monitoring of perioperative tissue perfusion and impact on patient outcomes. *J Cardiothorac Surg*. 2025;20(1):100. DOI: 10.1186/s13019-025-03353-6
- 58 Hernández G., Ospina-Tascón G.A., Damiani L.P., Estenssoro E., Dubin A., Hurtado J., et al. Effect of a resuscitation strategy targeting peripheral perfusion status vs serum lactate levels on 28-day mortality among patients with septic shock: The ANDROMEDA-SHOCK Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2019;321(7):654. DOI: 10.1001/jama.2019.0071
- 59 Wittayachamnankul B., Chentanakij B., Sruamsiri K., Chattipakorn N. The role of central venous oxygen saturation, blood lactate, and central venous-to-arterial carbon dioxide partial pressure difference as a goal and prognosis of sepsis treatment. *J Crit Care*. 2016;36:223–9. DOI: 10.1016/j.jcrc.2016.08.002
- 60 Sufiyarov I.F., Khasanov A.G., Nurtdinov M.A., Samorodov A.V., Jamalova G.R. High level of glycosaminoglycans of blood serum as an independent predictor of the developing peritoneum adhesive disease. *Creative surgery and oncology*. 2017;7(2):48–53 (In Russ.). DOI: 10.24060/2076-3093-2017-7-2-48-53
- 61 Kim H.J., Lee B., Lee B.H., Kim S.Y., Jun B., Choi Y.S. The effect of tranexamic acid administration on early endothelial damage following posterior lumbar fusion surgery. *J Clin Med*. 2021;10(7):1415. DOI: 10.3390/jcm10071415
- 62 Weinberg L., Yanase F., Tosif S., Riedel B., Bellomo R., Hahn R.G. Trajectory of plasma syndecan-1 and heparan sulphate during major surgery: A retrospective observational study. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2023;67(1):4–11. DOI: 10.1111/aas.14150
- 63 Eriksson S., Jan N., Gert L., Stureson C. Laser speckle contrast imaging for intraoperative assessment of liver microcirculation: a clinical pilot study. *Med Devices Evid Res*. 2014;7:257–61. DOI: 10.2147/MDER.S63393
- 64 Yajnik V., Maarouf R. Sepsis and the microcirculation: the impact on outcomes. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2022;35(2):230–5. DOI: 10.1097/ACO.0000000000001098
- 65 Trzeciak S., McCoy J.V., Phillip Dellinger R., Arnold R.C., Rizzuto M., Abate N.L., et al. Early increases in microcirculatory perfusion during protocol-directed resuscitation are associated with reduced multi-organ failure at 24 h in patients with sepsis. *Intensive Care Med*. 2008;34(12):2210–7. DOI: 10.1007/s00134-008-1193-6
- 66 Cabrales P., Intaglietta M., Tsai A.G. Transfusion restores blood viscosity and reinstates microvascular conditions from hemorrhagic shock independent of oxygen carrying capacity. *Resuscitation*. 2007;75(1):124–34. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2007.03.010
- 67 Van Leeuwen A.L.I., Dekker N.A.M., Jansma E.P., Boer C., Van Den Brom C.E. Therapeutic interventions to restore microcirculatory perfusion following experimental hemorrhagic shock and fluid resuscitation: A systematic review. *Microcirculation*. 2020;27(8):e12650. DOI: 10.1111/micc.12650
- 68 Robertson F., Fuller B., Davidson B. An evaluation of ischaemic preconditioning as a method of reducing ischaemia reperfusion injury in liver surgery and transplantation. *J Clin Med*. 2017;6(7):69. DOI: 10.3390/jcm6070069
- 69 Von Heesen M., Dold S., Müller S., Scheuer C., Kollmar O., Schilling M.K., et al. Cilostazol improves hepatic blood perfusion, microcirculation, and liver regeneration after major hepatectomy in rats. *Liver Transpl*. 2015;21(6):792–800. DOI: 10.1002/lt.24114
- 70 Flick M., Duranteau J., Scheeren T.W.L., Saugel B. Monitoring of the sublingual microcirculation during cardiac surgery: current knowledge and future directions. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2020;34(10):2754–65. DOI: 10.1053/j.jvca.2019.10.038
- 71 Bednarczyk J.M., Fridfinnson J.A., Kumar A., Blanchard L., Rabhani R., Bell D., et al. Incorporating dynamic assessment of fluid responsiveness into goal-directed therapy: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care Med*. 2017;45(9):1538–45. DOI: 10.1097/CCM.0000000000002554
- 72 Jhanji S., Vivian-Smith A., Lucena-Amaro S., Watson D., Hinds C.J., Pearse R.M. Haemodynamic optimisation improves tissue microvascular flow and oxygenation after major surgery: a randomised controlled trial. *Crit Care*. 2010;14(4):R151. DOI: 10.1186/cc9220
- 73 Ryzhkov I., Lapin K., Tsokolaeva Z., Kalabushev S., Ostrova I., Ershov A., et al. Microvascular and metabolic effects of a balanced electrolyte solution and heparinized autologous blood in hemorrhagic shock. *Archiv EuroMedica*. 2022;12(3):e1. DOI: 10.35630/2199-885X/2022/12/3.10
- 74 László I., Janovszky Á., Lovas A., Vargán V., Öveges N., Táncoz T., et al. Effects of goal-directed crystalloid vs. colloid fluid therapy on microcirculation during free flap surgery: A randomised clinical trial. *Eur J Anaesthesiol*. 2019;36(8):592–604. DOI: 10.1097/EJA.0000000000001024
- 75 Ruslan M., Baharuddin K., Noor N., Yazid M., Md Noh A.Y., Rahman A. Norepinephrine in Septic Shock: A Systematic Review and Meta-analysis. *West J Emerg Med*. 2021;22(2):196–203. DOI: 10.5811/westjem.2020.10.47825

© Рыжков И.А., Варнакова Л.А., Фонова П.А., 2025
 © Ryzhkov I.A., Varnakova L.A., Fonova P.A., 2025

<https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-415-424>

Получение функциональных гидроксипатитных покрытий на имплантах с использованием холодного газодинамического напыления

А.Р. Билялов, А.Т. Бикмеев, И.Ш. Ахатов, Д.В. Джурицкий, Р.С. Юровских, Б.Ш. Минасов, В.Н. Акбашев, М.Ф. Галаутдинов*

Башкирский государственный медицинский университет, Россия, Республика Башкортостан, Уфа

* **Контакты:** Билялов Азат Ринатович, e-mail: azat.bilyalov@gmail.com**Билялов Азат Ринатович** — к.м.н., доцент, кафедра травматологии и ортопедии, orcid.org/0000-0002-1273-9430**Бикмеев Александр Тимерзянович** — к.ф.-м.н., доцент, старший научный сотрудник, лаборатория математического моделирования, orcid.org/0000-0002-3352-5255**Ахатов Искандер Шаукатович** — д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник, лаборатория математического моделирования, orcid.org/0000-0003-4772-2302**Джурицкий Дмитрий Викторович** — к.т.н., доцент, старший научный сотрудник, лаборатория математического моделирования, orcid.org/0000-0003-0256-0645**Юровских Роман Сергеевич** — лаборатория математического моделирования, orcid.org/0009-0003-1559-1456**Минасов Булат Шамильевич** — д.м.н., профессор, кафедра травматологии и ортопедии, orcid.org/0000-0002-1733-9823**Акбашев Владислав Николаевич** — кафедра травматологии и ортопедии, orcid.org/0009-0000-7070-217X**Галаутдинов Марс Флоритович** — лаборатория аддитивных технологий, orcid.org/0000-0003-4284-5696

Аннотация

Минимизация риска развития послеоперационных осложнений напрямую зависит от уровня биосовместимости имплантационных систем, что в наибольшей степени определяется состоянием и свойствами их поверхности. Покрытия на основе гидроксипатита (ГАП) характеризуются структурно-функциональными особенностями, максимально приближенными к характеристикам костной ткани, что обуславливает их широкое применение в биомедицинской инженерии. Следовательно, нанесение гидроксипатита в качестве модифицирующего покрытия поверхности способно существенно повысить биосовместимость имплантатов и активировать процессы остеоинтеграции. На сегодняшний день формирование тонких покрытий ГАП преимущественно осуществляется методами термического напыления, реализуемыми при температурах, близких к температуре плавления исходного материала. Однако воздействие высоких температур приводит к снижению биосовместимости конечного покрытия и ограничивает возможность введения в его состав термолабильных биоактивных добавок. В связи с этим технологии холодного напыления представляют собой перспективное направление, потенциально превосходящее классические термические методы. Тем не менее высокая хрупкость гидроксипатита существенно осложняет получение прочных и равномерных покрытий при низкотемпературной обработке. Таким образом, выбор оптимального технологического подхода и установление рациональных параметров напыления являются ключевыми условиями формирования покрытий, обладающих требуемыми физико-химическими характеристиками, обеспечивающими повышение эффективности остеоинтеграции. В настоящей работе представлен систематический анализ экспериментальных исследований, направленных на разработку концептуальных основ подбора параметров порошка, подложки и холодного газодинамического напыления, ориентированных на получение высококачественных гидроксипатитовых покрытий с улучшенными биомедицинскими свойствами.

Ключевые слова: холодное газодинамическое напыление, импланты, покрытия, гидроксипатит, костный аллографт, биосовместимые материалы, костная ткань

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Данная работа выполнена в рамках приоритетного прикладного научного исследования, выполняемого в рамках государственного задания Минздрава России. Номер государственного учета в ЕГИСУ НИОКТР -124121700079-8.

Вклад авторов. Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Для цитирования: Билялов А.Р., Бикмеев А.Т., Ахатов И.Ш., Джурицкий Д.В., Юровских Р.С., Минасов Б.Ш., Акбашев В.Н., Галаутдинов М.Ф. Получение функциональных гидроксипатитных покрытий на имплантах с использованием холодного газодинамического напыления. Креативная хирургия и онкология. 2025;15(4):415–424. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-415-424>

Поступила в редакцию: 15.09.2025

Поступила после рецензирования и доработки: 21.10.2025

Принята к публикации: 31.10.2025

Functional Hydroxyapatite Coating of Implants Using Cold Spraying

Azat R. Bilyalov — *Cand. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Department of Traumatology and Orthopedics, orcid.org/0000-0002-1273-9430*

Alexandr T. Bikmeev — *Cand. Sci. (Phys. and Math.), Assoc. Prof., Senior Researcher, Laboratory of Mathematical Simulation, orcid.org/0000-0002-3352-5255*

Iskander Sh. Akhatov — *Dr. Sci. (Phys. and Math.), Prof., Chief Researcher, Laboratory of Mathematical Simulation, orcid.org/0000-0003-4772-2302*

Dmitry V. Dzhurinskiy — *Cand. Sci. (Engineering), Assoc. Prof., Senior Researcher, Laboratory of Mathematical Simulation, orcid.org/0000-0003-0256-0645*

Roman S. Yurovskikh — *Laboratory of Mathematical Simulation, orcid.org/0009-0003-1559-1456*

Bulat Sh. Minasov — *Dr. Sci. (Med.), Prof., Department of Traumatology and Orthopedics, orcid.org/0000-0002-1733-9823*

Vladislav N. Akbashev — *Department of Traumatology and Orthopedics, orcid.org/0009-0000-7070-217X*

Mars F. Galautdinov — *Laboratory of Additive Technologies, orcid.org/0000-0003-4284-5696*

Azat R. Bilyalov, Alexandr T. Bikmeev, Iskander Sh. Akhatov, Dmitry V. Dzhurinskiy, Roman S. Yurovskikh, Bulat Sh. Minasov, Vladislav N. Akbashev, Mars F. Galautdinov*

Bashkir State Medical University, Ufa, Russian Federation

*Correspondence to: Azat R. Bilyalov, e-mail: azat.bilyalov@gmail.com

Abstract

The risk of developing postoperative complications directly depends on the biocompatibility of implant systems, which is largely determined by the condition and properties of their surface. Hydroxyapatite (HA) coatings are characterized by maximum similarity of structural and functional properties to those of bone tissue, which determines their wide application in biomedical engineering. Therefore, HA as a modifying surface coating can significantly increase the biocompatibility of implants and activate osseointegration processes. Today, thin HA coatings are mainly applied using thermal spraying methods at temperatures close to the melting point of the original material. However, exposure to high temperatures decreases the biocompatibility of the final coating and limits the introduction of heat-labile bioactive additives into its composition. In this regard, cold spraying technologies represent a promising direction, potentially superior to standard thermal methods. However, high brittleness of HA significantly complicates the low-temperature application of strong and uniform coatings. Thus, the selection of an optimal technological approach and establishment of rational spraying parameters represent key conditions for the formation of coatings with the required physicochemical characteristics increasing the efficiency of osseointegration. This paper presents a systematic analysis of experimental studies aimed at developing a conceptual framework for selecting powder, substrate and cold spraying parameters aimed at obtaining high-quality HA coatings with improved biomedical properties.

Keywords: cold spraying, implants, coatings, hydroxyapatite, bone allograft, biocompatible materials, bone tissue

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

Sponsorship data. The work was carried out as part of a priority applied scientific research project carried out within the framework of a state assignment from the Russian Ministry of Health. State registration number in EGISU NIOKTR — 124121700079-8.

Author contributions. The authors contributed equally to this article.

For citation: Bilyalov A.R., Bikmeev A.T., Akhatov I.Sh., Dzhurinskiy D.V., Yurovskikh R.S., Minasov B.Sh., Akbashev V.N., Galautdinov M.F. Functional hydroxyapatite coating of implants using cold spraying. *Creative Surgery and Oncology*. 2025;15(4):415–424. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-415-424>

Received: 15.09.2025

Revised: 21.10.2025

Accepted: 31.10.2025

ВВЕДЕНИЕ

Реконструктивные и замещающие хирургические вмешательства достигли уровня, при котором они рассматриваются как стандартная рутинная медицинская практика. В качестве иллюстрации можно привести Соединенные Штаты Америки, где ежегодный объем тотального протезирования коленного и тазобедренного суставов в настоящее время составляет сотни тысяч операций [1]. По прогностическим оценкам, опубликованным в 2022 году для Соединенного Королевства, количество таких вмешательств должно достичь отметки свыше 225 тысяч к концу 2030 года [2]. На территории Китайской Народной Республики подобные хирургические манипуляции уже преодолели порог в один миллион процедур в год, что было зафиксировано в 2019 году [3, 4]. В области дентальной имплантации показатели установленных конструкций точно не определены, однако предполагается более значительный масштаб. Данные, поступающие из ежегодных отчетов медицинских учреждений различных государств, свидетельствуют о постоянном расширении рынка имплантационных материалов и устройств в ортопедии, челюстно-лицевой хирургии и нейрохирургии. Следовательно, научная деятельность в данном направлении находит свое оправдание в стремлении повысить качество жизни населения в глобальном масштабе.

По данным статистического анализа, частота осложнений установки имплантатов, требующих повторного оперативного лечения, колеблется в диапазоне от 5 до 12% [5, 6]. Основной причиной этого является неорганическое происхождение материалов, из которых изготавливаются имплантаты (металлические и полимерные основы), что создает препятствия для надлежащего процесса остеоинтеграции и, как результат, препятствует полному восстановлению функциональных характеристик костно-суставного аппарата конечности. С целью улучшения свойств поверхности имплантатов применяются разнообразные технологические подходы, в том числе создание и нанесение биоактивных функциональных покрытий для повышения пористости поверхностного слоя имплантата, а также конструирование биомиметических модификаций поверхности.

Гидроксиапатит рассматривается в качестве одного из наиболее актуальных и перспективных материалов для указанных целей при разработке биосовместимых покрытий. Согласно научным данным [7], минеральный состав костной ткани включает гидроксиапатит в количестве 70–90% от общей массы. Предполагается, что создание покрытия на основе этого материала обеспечит оптимальный уровень биосовместимости и позволит организму использовать его в качестве исходного материала для регенерации и роста костной ткани, что способствует повышению степени остеоинтеграции. Дополнительным преимуществом является наличие развитой пористой архитектуры материала, которая дает возможность включать в состав покрытия терапевтические препараты, включая противомикробные средства [8–10].

Используются много различных методов для нанесения покрытий HAP [11–13], таких как:

- термическое напыление (Thermal Spray, TS);
- плазменное напыление (Plasma Spray, PS);
- нанесение связующего с порошком ГАП с последующим спеканием;
- магнетронное распыление (Magnetron Spray, MS);
- детонационно-газовый метод напыления (Detonation gas technique, DS);
- холодное напыление (Cold Spray, CS);
- высокоскоростное напыление суспензии пламенем (High-Velocity Suspension Flame Spraying, HVFS);
- высокоскоростное газопламенное напыление (или высокоскоростное кислородно-топливное напыление) (High-Velocity Oxy Fuel Spraying, HVOF);
- электрохимическое осаждение (Electrochemical Deposition, ECD);
- электрофоретическое осаждение (Electrophoretic Deposition, EPD).

Каждая из предлагаемых альтернативных методик характеризуется собственным набором положительных и отрицательных характеристик, что обуславливает их использование в определенных и специализированных областях практического применения. Необходимо подчеркнуть, что методологии плазменного и термического нанесения покрытий получили наибольшее распространение как в области фундаментальных научных исследований, так и в промышленном производстве благодаря их способности обеспечивать однородное распределение слоя покрытия с достаточно высокими показателями адгезионной прочности. Однако значительным ограничением указанных методик является возникновение экстремально высоких температурных режимов в области частиц порошкового материала, что провоцирует нарушение исходной структурной организации покрытия, деструкцию молекул гидроксиапатита с образованием легко растворимых фосфатных соединений (таких как трикальций-фосфат), формирование различного рода дефектных структур, обусловленных процессами вторичной кристаллизации, и иные структурные аномалии [11, 12, 14]. Применяемые в настоящее время способы осаждения материалов из жидких сред (электрохимическое и электрофоретическое осаждение) предполагают прямое химическое воздействие на порошковую фазу материала, что может оказать неблагоприятное влияние на элементный и фазовый состав получаемого слоя покрытия, кроме того, они способствуют формированию относительно компактных слоев с пониженными показателями пористости [14], достигающих толщины порядка 100 мкм, геометрические параметры которых не являются благоприятными для процесса остеоинтеграции.

Среди описанных ранее методических подходов лишь две технологические системы функционируют при относительно умеренных температурных режимах: катодное распыление с использованием магнетронного источника и газодинамическое напыление в низкотемпературном режиме. Первая из этих методик позволяет синтезировать исключительно тонкие слои покрытия

(в диапазоне 15–30 мкм) и предъявляет повышенные требования к использованию порошковых материалов с частицами нанометрового масштаба. Газодинамическое напыление в холодной конфигурации может быть реализовано в интервале температур от 100 до 500 °С, что представляет существенное снижение относительно температуры фазового перехода (1100 °С) и порога инициации термической деструкции гидроксиапатита с прогрессирующим преобразованием в трикальцийфосфат (800 °С).

Методология холодного газодинамического напыления до настоящего времени не получила достаточного внимания в научном сообществе при изучении вопросов формирования покрытий на гидроксиапатитной основе в силу специфических физико-механических свойств данного материала, а также потому, что традиционное производство аналогичных поверхностных слоев исторически осуществляется преимущественно через применение плазменных технологий напыления. Вместе с тем сейчас наблюдается устойчивое увеличение как научного, так и промышленного интереса к технологии холодного газодинамического напыления, которое связано с усилением и повышением строгости критериев и стандартов, предъявляемых к фазовому и элементному составу поверхностных модификаций, а также к их способности и потенциалу по интеграции и сохранению биологической активности дополнительных фармацевтических препаратов и биологических активных веществ, которые проявляют выраженную чувствительность к температурному воздействию и тепловым нагрузкам. Если принять во внимание вышеперечисленные факторы и обстоятельства, то видно, что возникает необходимость проведения комплексного и систематического анализа научной информации, содержащейся в опубликованных исследованиях, касающихся процессов разработки и оптимизации поверхностных слоев, сформированных на основе гидроксиапатита, с последующей разработкой научно обоснованных и доказательных рекомендаций относительно выбора наиболее подходящих и эффективных технологических параметров для реализации данного технологического процесса.

Учитывая, что необходимость создания биосовместимых покрытий, включая композиции на основе гидроксиапатита, является актуальной на протяжении продолжительного времени, в научной литературе накоплено значительное количество публикаций экспериментального и теоретического характера. Вместе с тем в силу специфики практического внедрения подавляющее большинство этих работ сконцентрировано на исследовании процессов взаимодействия между создаваемым покрытием и компонентами биологической среды организма, включая жидкости и тканевые структуры, а также на оценке адгезии и пролиферации клеточных элементов как на поверхностном слое, так и внутри его объема, наряду с количественной характеристикой степени остеointegrационных процессов. Дополнительно следует подчеркнуть, что наиболее актуальные обзорные материалы были представлены научному сообществу в 2023 году [15–17]. Необходимо

также акцентировать внимание на том факте, что исследовательские публикации, выпущенные в течение трехлетнего периода (2022–2024 годы) по направлению технологии изготовления гидроксиапатитных покрытий, были преимущественно ориентированы на анализ влияния характеристик материала подложки и состава порошковой композиции. Указанное направление исследований ранее не являлось предметом интенсивного научного анализа. Кроме того, выявлено, что определенная часть научных исследований была направлена на адаптацию и применение методологических основ процесса холодного газодинамического напыления для формирования гидроксиапатитных покрытий, что демонстрирует инновационный прогресс в данной научной области. В этой связи современная обзорная публикация может обеспечить значительную ценность для осмысления новейших научных результатов и установления их логической связи с ранее полученными исследовательскими данными.

Еще одной значимой отличительной характеристикой предлагаемой обзорной работы, которая, по мнению авторов, придает ей уникальный характер, является направленность внимания на технологические и процессные параметры методики холодного напыления при работе с материалами на основе гидроксиапатита и анализ их взаимосвязи с достигаемыми показателями качества синтезируемого гидроксиапатитного слоя. С учетом вышеизложенного была реализована попытка представить обзорный материал исходя из позиции производства, а не с позиции конечного потребителя, основной интерес которого сосредоточен на функциональном поведении и эксплуатационных характеристиках покрытия в условиях биологической среды организма. В представленной работе систематизированы и обобщены научные данные из многочисленных источников с целью формулирования комплексных рекомендаций относительно технологии производства высококачественных биосовместимых покрытий с использованием гидроксиапатита, что до настоящего времени не реализовывалось в подобной последовательной и систематизированной форме.

Для достижения покрытия с необходимыми эксплуатационными характеристиками требуется определить набор технологических параметров, что реализуется посредством серии экспериментов с использованием методологии планирования эксперимента (DOE). Важно отметить, что даже при применении такой системной методики критично обоснованно задавать диапазоны варьирования исследуемых факторов для получения достоверных результатов.

Целью настоящего исследования является выявление оптимальных параметров процесса холодного газодинамического напыления и состава порошковой смеси, обеспечивающих формирование покрытия с заданными свойствами, такими как толщина и адгезия. Кроме того, проводится оценка возможного применения данной аддитивной технологии в производстве строительных элементов из гидроксиапатита (ГАП). Анализ основан на корпусном обзоре научной литературы, опубликованной до конца 2025 года.

Согласно рекомендациям протокола PRISMA 2020 [18], в исследовании были задействованы три библиографических базы данных: PubMed, Scopus и Springer Link. Для автоматизированного сбора релевантной информации использовались API этих сервисов, а также специализированные пользовательские скрипты на языке Python, разработанные для обработки результатов поисковых запросов. Формулировка запроса включала ключевые слова и логические операторы: (“Cold Gas Dynamic” AND (Spray OR Spraying)) OR “Cold Spray” AND (hydroxyapatite OR “tricalcium phosphate”).

В выборку вошли оригинальные, не рецензируемые журнальные статьи на английском языке, подробно описывающие процесс напыления с применением гидроксиапатита и характеристики образованных покрытий. При этом работы, сосредоточенные на биосовместимости, коррозионной устойчивости или скорости резорбции покрытий, в анализ не включались, поскольку акцент исследования сосредоточен на технологических параметрах процесса напыления.

На этапе первоначального поиска по трем выбранным базам было найдено 552 публикации. После автоматического удаления дубликатов, а также исключения книг, глав книг и обзорных публикаций, которые дублируют результаты оригинальных исследований, а также больших сборников материалов конференций, не соответствующих критериям, объем выборки был значительно сокращен.

На втором этапе фильтрации были проанализированы заголовки и аннотации 289 оставшихся статей на предмет релевантности выбранной тематике. Записи, касающиеся иных технологий, кроме холодного газодинамического напыления, удалялись. Обзорные статьи, не выявленные автоматизированными системами на предыдущем этапе, также были исключены. По итогу данного этапа было исключено 254 публикации, и в выборку вошли 35 статей.

В финальном этапе была проведена детальная экспликация полного текста этих публикаций, в результате чего дополнительное исключение коснулось 13 статей по следующим причинам: 4 публикации отсутствовали для просмотра и анализа; 3 статьи описывали исключительно процесс осаждения частиц, что релевантно исследованиям механики ударных взаимодействий, но не применимо для изучения характеристик покрытия; 6 публикаций фокусировались на покрытии гидроксиапатитом, но не содержали подробной информации о параметрах технологического процесса. В определенных случаях подобные технологические детали были описаны в ранее изданных работах, тогда как рассматриваемые статьи преимущественно касались биосовместимости.

В итоге в итоговый исследовательский корпус был включен набор из 22 статей, которые удовлетворяли установленным критериям выбора.

Параметры процесса холодного газодинамического напыления

Холодное газодинамическое напыление (ХГН) представляет собой технологию получения объемных изде-

лий и покрытий с применением мелкодисперсных порошков, вводимых в поток рабочего газа, движущегося со сверхзвуковой скоростью [19]. Этот метод относят к современным видам аддитивных технологий [19–21]. Основное его достоинство заключается в том, что процесс протекает в твердой фазе при относительно низких температурах, что позволяет формировать изделия без дефектов, связанных с процессами плавления и последующей кристаллизации. При этом структура исходного материала покрытия практически не изменяется.

Во время напыления поток газа под высоким давлением захватывает частицы порошка и направляет их в специальную камеру (рис.), где обеспечивается их ускорение до высоких скоростей. Для формирования сверхзвукового потока используется сопло Де Лаваля, через которое проходит газ или газо-порошковая смесь. В редких случаях подача порошка осуществляется уже после критического сечения сопла, однако это усложняет конструкцию системы и может вызывать неравномерное распределение частиц. При движении в нагретом потоке частицы дополнительно разогреваются. Конечные параметры — температура и скорость частиц на момент удара о подложку — определяются расстоянием между распылителем и поверхностью осаждения (SoD — standoff distance). Таким образом, геометрия сопла, температура газа и расстояние до подложки являются ключевыми технологическими параметрами. Морфология и плотность получаемого покрытия зависят от характеристик порошка (размерного распределения, формы частиц, состава) и свойств материала подложки.

В таблице приведены обобщенные данные, отражающие параметры и результаты исследований по холодному газодинамическому напылению, представленные в ряде публикаций. Их детальный анализ рассматривается в следующих разделах.

Согласно сведениям из таблицы в ходе экспериментов в качестве рабочего газа при осаждении чистого гидроксиапатита применялся либо нагретый, либо комнатной температуры воздух. Для напыления композиций, включающих ГАП и более пластичные порошковые добавки, чаще использовался азот. Выбор рабочего газа, как правило, определяется конструктивными особенностями оборудования и не имеет строго регламентированных предпочтений. Оба газа могут быть использованы для напыления различных типов порошковых материалов. Однако наличие инертной

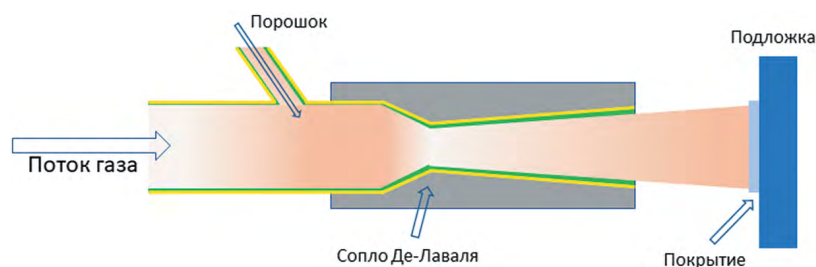


Рисунок. Схема процесса холодного газодинамического напыления
Figure. Diagram of cold spraying

Материал порошка (Размер частиц), свойства смеси	Подложка; Рабочий газ	Параметры процесса			Толщина покрытия, μm	Адгезия, МПа	Источник
		P_{gas} , bar	T_{gas} , °C	SoD, mm			
Покрывание чистым ГАП							
ГАП (45 μm)	PEEK; Воздух	11–12	150–160	15	50	30–40	– [22]
ГАП (4 μm)	AZ51 (400 °C); Воздух	10	25	40	–	20–30	– [23]
ГАП	PEEK; Воздух	14	400	30	–	100	7,16 [24, 25]
ГАП (5 μm)	Mg (350–550 °C); Воздух	10	24	20–60	–	13–41	– [26–28]
ГАП (40 μm)	PVA; Воздух	10–30	200–400	30–150	10	100	– [29, 30]
ГАП (25 μm)	Ti; Азот	20	300	10	300	120	– [31]
ГАП (0.08 μm + 40 μm)	Ti; Воздух	10	600	–	–	10 000	– [32]
ГАП (47,7 μm)	SS-316L; Азот	24	300	20	15	100	11,10 [33]
ГАП (149 μm , 59,3 μm , 22,8 μm)	Ti6Al4V; Воздух	5, 8	100–500	15	10, 50	35 20 60–120	– [34]
ГАП (28,71 μm)	SS-316L; Воздух	7	400	20	50	11	1,80 [35]
ГАП (46,14 μm , 8,57 μm , 40,83 μm)	SS-316L; Воздух	3–8	300–600	10–30	–	11–57 (1,6 μm per pass)	– [36]
ГАП (40 μm)	Al6061, Inс625, SS-316, H13, Ti64, AZ31; Воздух	3–8	300–600	10–30	–	24–53	– [37]
Композитные покрытия: ГАП + дуктильная фаза							
ГАП + Пористый Ti (45 μm) 20–80 % 50–50 %	Ti; Азот	35 30	600 700	25 25	50–400	380 203	24,45 18,20 [38]
ГАП + Пористый Ti (45 μm) 20–80 % 50–50 %	Ti; Азот	35 35	700 700	25 25	50–400	560 200	– [39]
ГАП + Пористый Ti (35 μm + 60 μm) 30–70 %	Ti; Азот	30	450	15	–	800	60,00 [40], [41]
ГАП + Пористый Ti (45 μm) 20–80 %	Al6061; Воздух	30 35 35	600 600 600	–	100 400 100	617 178 432	– [42]
ГАП + Cu/Zn (28,71 μm) 80–20 %	SS-316L; Воздух	7	400	20	50	202	33.70 [43]

Таблица. Свод параметров процесса ХГН и полученных покрытий из выбранных публикаций
Table. Cold spraying parameters and resulting coatings: summary from selected publications

атмосферы способствует снижению поверхностного окисления частиц, что особенно важно при работе с металлическими компонентами. В качестве подложек при производстве имплантатов применяются титан и его сплавы, магний и его сплавы, а также полимерный материал РЕЕК. В дальнейшем рассмотрено влияние каждого из указанных параметров, а также ряда дополнительных факторов.

Состав и свойства порошка

В научном сообществе хорошо известно, что формирование защитного слоя из чистого ГАП с кристаллической структурой представляет собой нетривиальную проблему, обусловленную хрупкостью этого вещества. Как правило, толщина образующегося защитного слоя варьируется в диапазоне 30–500 мкм, при этом ключевым параметром, определяющим толщину, является дисперсность исходного порошка. В работе Paterlini с соавт. продемонстрировано [34], что снижение дисперсности порошка при неизменных условиях процесса позволяет повысить толщину слоя в три-пять раз. При исследовании относительно толстого слоя [32] применялась дисперсная система из нескольких фракций порошка с объемным средним диаметром 40 мкм.

При таком подходе повышение степени уплотнения материала в слое было достигнуто благодаря оптимизации геометрического расположения и контакта частиц. Для устранения проблемы недостаточной деформируемости гидроксиапатита огромное количество научных работ направлено на создание двухфазного покрытия, включающего гидроксиапатит в сочетании с пластически деформируемым компонентом. Иными словами, металлическая система или органический полимер, обладающие необходимой способностью к пластической деформации, соединялись с частицами ГАП. В большинстве случаев вещество пластической фазы совпадало по химическому составу с материалом основания. Применение сферических частиц из технически чистого титана препятствует получению плотного многокомпонентного слоя значительной толщины, так как частицы титана характеризуются недостаточной деформируемостью при механическом воздействии. Сферическая морфология частиц не предоставляет необходимую контактную поверхность для размещения и фиксации частиц гидроксиапатита. Следовательно, частицы ГАП удаляются из области напыления [38]. Применение порошков с несферической геометрией частиц может способствовать двух-трехкратному увеличению толщины

получаемого слоя. Поэтому в большинстве исследовательских работ предпочтение отдавалось пористому титану [38–42].

Дополнительно существует ограничение, накладываемое на соотношение между дисперсностью титановых и частиц ГАП, а также их долевой состав. Наиболее устойчивые многокомпонентные слои толщиной до 500 мкм получали при массовом соотношении 20 % ГАП и 80 % пористого титана [38] либо при соотношении 30 % ГАП и 70 % пористого титана [40, 41].

Альтернативная методология предложена авторами исследования и предусматривает внедрение материала, характеризующегося высокими пластическими свойствами [35]. Введение металлических порошков меди и цинка в состав порошка ГАП в пропорции 80 % гидроксиапатита + 20 % Cu–Zn системы обеспечило значительное увеличение толщины покрытия с показателя 11 микрометров до величины 202 микрометра.

Значимым преимуществом многокомпонентного покрытия является улучшение показателей адгезионной прочности. Для однофазного гидроксиапатитового покрытия адгезионная прочность ограничена пределом 11 МПа, в то время как многокомпонентное покрытие демонстрирует показатели адгезионной прочности в диапазоне от 18 до 60 МПа в соответствии с характеристиками пластичного компонента и соотношением компонентного состава.

Параметры потока рабочего газа

Параметры газового потока определяются величиной давления в камере, температурным режимом и промежуточным расстоянием между источником и целевой поверхностью. Эти факторы непосредственно влияют на скорость, с которой движутся газовая среда и частицы в момент столкновения.

Когда частицы гидроксиапатита имеют небольшие размеры в сочетании с интенсивным газовым потоком, они приобретают недостаточный импульс, что препятствует их удержанию в зоне напыления до момента соударения с подложкой. Аналогичные наблюдения были зафиксированы несколькими научными коллективами [24, 32, 36].

Увеличение размерности частиц в сочетании с пониженной скоростью газовой среды провоцирует упругое взаимодействие между частицами и основанием, что способствует выносу частиц за пределы зоны напыления [36].

Поднятие температуры газовой среды сопровождается снижением требуемого давления вследствие уменьшения пластичности материала. При нанесении гидроксиапатита на полиэфирэфиркетон экспериментально установлено, что при тепловом режиме 200 и 300 °C итоговое покрытие либо практически не содержит гидроксиапатита, либо полностью его лишено [24, 25]. Достижение температурного уровня 400 °C позволяет четко зафиксировать структурированные образования гидроксиапатита, интенсивность проявления которых растет синхронно с увеличением давления.

Совокупность этих исследований демонстрирует, что рост давления сопровождается значительным возрас-

танием кинетической энергии частиц, что оказывает выраженное отрицательное воздействие на покрытие ГАП [24, 25, 29, 30]. В то же время слои смешанного состава с минимальной долей гидроксиапатита проявляют повышенные технические характеристики при повышенном давлении в интервале 30–35 бар [38, 41].

Во время комплекса исследовательских мероприятий, осуществленных авторским коллективом Hasniyat и соавт. [26–28], была установлена определяющая роль расстояния между аппаратом напыления и подложкой на параметры качества создаваемого слоя. Выяснилось, что наиболее благоприятное расстояние сосредоточено в границах 20–30 мм. Анализ информации в таблице указывает, что подавляющее большинство результативных опытов как с чистыми гидроксиапатитными, так и с композитными покрытиями реализовывались в диапазоне расстояний 20–40 мм. Группой исследователей [29] выявлено, что увеличение расстояния вызывает размывание ширины напыляемого участка, так как площадь основания газовой струи также расширяется при росте дистанции между пистолетом и подложкой.

Влияние подложки

Параметры основы, включая ее тепловой режим и морфология поверхности, оказывают существенное воздействие на эффективность процесса напыления. В ряде работ Hasniyat и соавт. [26–28] разработали методику, основанную на факторных экспериментах, в которой оценивалось влияние температуры подложки, шероховатости подложки и расстояния от источника до подложки на результаты распыления. Носителем служил воздух при комнатной температуре, а подложкой — чистый магний.

Было показано, что расстояние между соплом и поверхностью оказывает наибольшее влияние, в то время как увеличение шероховатости поверхности положительно сказывается на толщине покрытия; это согласуется с результатами других исследований [32].

Повышение температуры подложки также проявляет положительное действие, однако оно ограничено определенным температурным порогом, обусловленным термозависимыми характеристиками используемого вещества. Указанный температурный диапазон обычно составляет от половины до трех четвертей от показателя плавления. При приближении к этому пороговому значению показателей плавления материала подложки [26–28] или температурно-критических границ его разложения [29] адгезионные свойства напыленного слоя претерпевают значительное снижение.

В исследовании, проведенном Judd с соавт. [42], был осуществлен анализ многокомпонентного покрытия (80 % Ti + 20 % ГАП), полученного посредством низкотемпературного напыления на различные металлические основания: сталь марки SS316L, алюминиевый сплав Al6061 и титановый сплав Ti6Al4V. Нанесение слоев выполнялось при значительных показателях давления в диапазоне 25–35 бар. При используемых условиях композиционное напыление было реализовано исключительно на алюминиевой основе Al6061, что объясняется меньшей твердостью алюминиевого

сплава по сравнению с другими материалами, использованными в исследовании. При высоких показателях механической прочности частицы ГАП подвергаются упругому столкновению при контакте с поверхностью и не способны образовать прочное соединение. Ввиду того что в ряде других научных трудов [23, 28, 37] зафиксировано, что основания с низкой механической твердостью проявляют повышенную восприимчивость к адгезии ГАП, возможно заключить, что механическая твердость подложки представляет критически важный параметр, определяющий успешность проведения процесса.

Влияние количества проходов и скорости движения сопла

При нанесении покрытия на обширные области необходимо осуществлять движение распылительного аппарата для полного охвата всей обрабатываемой поверхности. Формирование толстого слоя требует последовательного применения нескольких слоев порошкового материала.

Научные работы Judd с соавт. [42] и Paterlini с соавт. [34], наряду с информацией, представленной в таблице, демонстрируют, что повышение скорости движения аппарата приводит к снижению слоя покрытия и способствует повышению его пористости.

Вместе с тем имеющиеся материалы о воздействии числа наносимых слоев содержат противоречивые выводы. Исследования Hasniyat и соавт. [26–28] указывают, что расширение количества слоев с пяти до десяти оказывает минимальное действие на формирование покрытия, в то время как публикации [36, 37, 42] свидетельствуют, что повторное использование распылительного аппарата способствует постоянному нарастанию толщины слоя и сокращению пористости. Согласно таблице в первом исследовании было давление не ниже 10 бар, тогда как в альтернативном подходе давление газа варьировалось в пределах 3–8 бар. Причину расхождений в полученных итогах можно интерпретировать исходя из предположения, что при сниженных величинах давления энергетический потенциал частиц ГАП оказывается достаточным для облегчения процесса образования слоя, однако интенсивность газового потока недостаточна для эффективного удаления частиц и загрязнений из зоны обработки. В результате этого большая доля порошка остается в обрабатываемой области, где происходит его трансформация в слой. Данный механизм развития слоя был ранее описан посредством исследования энергетических характеристик частиц и их сопоставления с показателями энергии разрушения [36]. В указанном исследовании предложено, что интенсивность нарастания слоя составляет приблизительно 1,6 мкм за один проход при применяемых технологических условиях.

В публикации Vilardell и соавт. [32] показаны итоги исследований, в ходе которых осуществлялось многослойное нанесение гидроксиапатита на основание из поликристаллического титана. Анализ показывает, что удалось сформировать слой с максимальной толщиной порядка 10 мм. По данным исследования,

процесс формирования слоя характеризуется отрицательной связью между скоростью роста и количеством слоев. Такая закономерность объясняется свойствами материала: при низких значениях давления сформированный слой приобретает значительную пористость. Вследствие этого определенная часть энергии, поступающей при осаждении дополнительных слоев, направляется на уплотнение уже сформированных слоев. Это обстоятельство становится причиной замедления увеличения толщины формируемого слоя. Следовательно, управление параметрами покрытия из гидроксиапатита, включая его толщину и структуру пор, возможно благодаря целенаправленному варьированию числа наносимых слоев и темпу перемещения сопла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное изучение литературы позволяет констатировать перспективность применения метода холодного газодинамического напыления для производства высокоэффективных покрытий на основе гидроксиапатита, как монокомпонентных, так и в качестве гибридных композиционных систем. Данный технологический процесс обеспечивает возможность регулирования структурных и механических характеристик получаемых покрытий, в том числе уровня пористости, геометрических параметров толщины и показателей адгезионной надежности. Научные исследования демонстрируют, что качественные параметры сформированного покрытия находятся в прямой зависимости от применяемых режимных настроек технологического процесса. На основе систематизации результатов обширного комплекса экспериментальных исследований были сформулированы нижеследующие практические рекомендации.

Тепловой режим рабочей газовой среды при работе с монокомпонентным гидроксиапатитом и при создании композиционных слоистых структур должен находиться в интервале от 200 до 600 °С. При некоторых специфических условиях применения композиционного покрытия данный параметр может быть увеличен до 700 °С.

Величина давления газовой фазы при нанесении монокристаллического гидроксиапатитного слоя не должна превышать значения в 10 бар и, как правило, поддерживается в пределах 3–8 бар. В случае создания композиционного слоя с включением гидроксиапатита давление должно выбираться исходя из необходимости реализации пластической деформационной способности металлической составляющей. Для материалов с повышенной пластичностью допустимый диапазон составляет 5–15 бар, а для высокопрочных металлических сплавов (в частности, титановых) — 20–40 бар.

Оптимальное расстояние распыления для чистого гидроксиапатита должно находиться в диапазоне 20–40 миллиметров, тогда как для композиционного варианта покрытия можно использовать расширенный интервал — 15–50 миллиметров.

Для достижения улучшенных характеристик готовых изделий целесообразно применять порошковый материал, состоящий из двух различных фракционных ком-

пленок. При использовании чистого гидроксиапатитного порошка требуется включение мелкодисперсной фракции с размером частиц, не превышающим 1 микрон, и более крупной фракции со средним диаметром частиц приблизительно 45 микрон. Такая комбинация обеспечит эффективное заполнение всех микропор и микротрещин поверхностного слоя и будет способствовать интенсивному нарастанию толщены покрытия. При формировании композиционных покрытий пластическая компонента должна обладать неправильной геометрией частиц, при этом размеры этих частиц должны быть больше размеров гидроксиапатитных частиц. Для высокопрочных материалов (в том числе титана и его сплавов) оптимальное соотношение компонентов должно составлять 20–30% гидроксиапатита при содержании металлической фазы 80–70%. Для материалов, характеризующихся значительной пластической деформируемостью и низкими показателями твердости (например, медь или цинк), универсальные нормативы по регулированию указанных пропорций отсутствуют.

Для получения плотного покрытия значительной толщины рекомендуется применять методику многократного напыления. Скорость перемещения напылительного инструмента оказывает неблагоприятное воздействие на толщину и уровень пористости финального покрытия.

В процессе проведения настоящего аналитического обзора было выявлено, что материалы, объединяющие в себе хорошие пластические свойства при одновременно низких показателях твердости, представляют собой оптимальный выбор для осуществления нанесения слоистых структур методом холодного газодинамического напыления с применением гидроксиапатита. Осуществление предварительного теплового воздействия на основной материал может способствовать повышению качественных параметров получаемого покрытия, в то время как последующая финишная обработка может привести к увеличению микшероховатости поверхностного слоя основного материала.

Предполагается, что данный аналитический обзор и предложенная система рекомендаций, касающихся оптимизации параметров технологического процесса, будут содействовать специалистам в области материаловедения и инженерной практики при разработке и производстве биосовместимых и биоактивных покрытий на основе гидроксиапатита с улучшенными показателями качества и сокращением сроков их изготовления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- 1 Joint Replacement Surgery. 2024. [cited 2024 Dec 1]. Available from <https://rheumatology.org/patients/jointreplacementsurger>
- 2 Matharu G.S., Culliford D.J., Blom A.W., Judge A. A Judge Projections for primary hip and knee replacement surgery up to the year 2060: an analysis based on data from The National Joint Registry for England, Wales, Northern Ireland and the Isle of Man. *Ann R Coll Surg Engl.* 2022;104(6):443–8. DOI: 10.1308/rcsann.2021.0206
- 3 Feng B., Zhu W., Bian Y.Y., Chang X., Cheng K.Y., Weng X.S. China artificial joint annual data report. *Chin Med J (Engl).* 2020;134(6):752–3. DOI: 10.1097/CM9.0000000000001196
- 4 Shakya H., Chen A., Zhou Z. The increase in total knee replacement surgery in China. a 10year real world study. *Open J Orthoped.* 2024;14(06):270–86. DOI: 10.4236/ojo.2024.146024
- 5 Curlewis K., Leung B., Sinclair L., Thornhill C., Chan G., Ricketts D. Systemic medical complications following joint replacement: a review of the evidence. *Ann R Coll Surg Engl.* 2023;105(3):191–5. DOI: 10.1308/rcsann.2022.0012
- 6 Long H., Xie D., Zeng C., Wang H., Lei G., Yang T. Burden and characteristics of revision total knee arthroplasty in China: a national study based on hospitalized cases. *J Arthroplasty.* 2023;38(7):1320–5.e2. DOI: 10.1016/j.arth.2023.02.052
- 7 Pramanik K. Stem cell and tissue engineering. Bone, cartilage, and associated joint tissue defects. Boca Raton, FL: CRC Press; 2024. 354 p.
- 8 Lv Y., Chen Y., Zheng Y., Li Q., Lei T., Yin P. Evaluation of the antibacterial properties and invitro cell compatibilities of doped copper oxide/hydroxyapatite composites. *Colloids Surf B Biointerfaces.* 2022;209(Pt 2):112194. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2021.112194
- 9 Djošić M., Janković A., Stevanović M., Stojanović J., Vučkanić-Sekulić M., Kojić V., et al. Hydroxyapatite/poly(vinyl alcohol)/chitosan coating with gentamicin for orthopedic implants. *Mater Chem Phys.* 2023;303:127766. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2023.127766
- 10 Khamkongkao A., Jiamprasertboon A., Jinakul N., Srabua P., Tantavisut S., Wongrakpanich A. Antibioticloaded hydroxyapatite scaffolds fabricated from Nile tilapia bones for orthopaedics. *Int J Pharm X.* 2023;5:100169. DOI: 10.1016/j.ijpx.2023.100169
- 11 Gadow R., Killinger A., Stiegler N. Hydroxyapatite coatings for biomedical applications deposited by different thermal spray techniques. *Surf Coat Technol.* 2010;205(4):1157–64. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2010.03.059
- 12 Pal Singh R., Bala N. Comparative studies of cold and thermal sprayed hydroxyapatite coatings for biomedical applications — a review. *Ceramic transactions.* 2012;237:250–9. DOI: 10.1002/9781118511466.ch24
- 13 Vilardell A.M., Cinca N., GarciaGiral N., Dosta S., Cano I.G., Nogués X., et al. Invitro comparison of hydroxyapatite coatings obtained by cold spray and conventional thermal spray technologies. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2020;107:110306. DOI: 10.1016/j.msec.2019.110306
- 14 Awasthi S., Pandey S.K., Arunan E., Srivastava C. A review on hydroxyapatite coatings for the biomedical applications: experimental and theoretical perspectives. *J Mater Chem B.* 2021;9(2):228–49. DOI: 10.1039/d0tb02407d
- 15 Sharath Kumar J., Kumar R., Verma R. Surface modification aspects for improving biomedical properties in implants: a review. *Acta Metall. Sin. (Engl. Lett.).* 2024;37(2):213–41. DOI: 10.1007/s40195023016317
- 16 Prashar G., Vasudev H. Understanding cold spray technology for hydroxyapatite deposition: review paper. *J Electrochem Sci Eng.* 2023;13(1):41–62. DOI: 10.5599/jese.1424
- 17 Sandhu H.S., Goyal D., Sharma A., Goyal T., Jarial S., Sharda A. Sustainable development in cold gas dynamic spray coating process for biomedical applications: challenges and future perspective review. *Int J Interact Des Manuf.* 2023:1–17. DOI: 10.1007/s12008023014747
- 18 Page M.J., McKenzie J.E., Bossuyt P.M., Boutron I., Hoffmann T.C., Mulrow C.D., et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ.* 2021;372:n71. DOI: 10.1136/bmj.n71
- 19 Li W., Yang K., Yin S., Yanga X., Xua Y., Lupoib R. Solid-state additive manufacturing and repairing by cold spraying: A review. *J Mater Sci Technol.* 2018;34(3):440–57. DOI: 10.1016/j.jmst.2017.09.015
- 20 Wang Z., Mao P., Huang C., Li W., Lupo R., Yin Sh. Deposition mechanism of ceramic reinforced metal matrix composites via cold spraying. *Addit Manuf.* 2024;85:104167. DOI: 10.1016/j.addma.2024.104167
- 21 Wu D., Zhang J., Li W., Xu Y., Yang X., Su Y. Morphology of ceramic regulates the deposition behavior and mechanical properties of cold spray additive manufactured Al2O3/2024 aluminum matrix composites. *Mater Charact.* 2024;215:114197. DOI: 10.1016/j.matchar.2024.114197
- 22 Sanpo N., Tan M.L., Cheang P., Khor K.A. Antibacterial property of cold sprayed HAAg/PEEK coating. *J Therm Spray Tech.* 2009;18(1):10–5. DOI: 10.1007/s1166600892830
- 23 Noorakma A.C.W., Zuhailawati H., Aishvary V., Dhindaw B.K. Hydroxyapatite coated magnesium based biodegradable alloy: cold spray deposition and simulated body fluid studies. *J Mater Eng Perform.* 2013;22(10):2997–3004. DOI: 10.1007/s1166501305899
- 24 Lee J.H., Jang H.L., Lee K.M., Baek H.R., Jin K., Hong K.S., et al. In vitro and in vivo evaluation of the bioactivity of hydroxyapatite-coated polyetheretherketone biocomposites created by cold spray technology. *Acta Biomater.* 2013;9(4):6177–87. DOI: 10.1016/j.actbio.2012.11.030
- 25 Lee J.H., Jang H.L., Lee K.M., Baek H.R., Jin K., Noh J.H. Cold-spray coating of hydroxyapatite on a three-dimensional polyetheretherketone implant and its biocompatibility evaluated by in vitro and in vivo mini-

- pig model. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2017;105(3):647–57. DOI: 10.1002/jbm.b.33589
- 26 Hasniyati M., Zuhailawati H., Sivakumar R., Mohd Moor F. Cold spray deposition of hydroxyapatite powder onto magnesium substrates for biomaterial applications. *Surf Eng.* 2015;31(11):867–74. DOI: 10.1179/1743294415Y.0000000068
- 27 Hasniyati M.R., Hussain Z., Ramakrishnan S., Dhindaw B.K., Mohd Noor F. Design of experiment (DOE) study of hydroxyapatite coated magnesium by cold spray deposition. *MSF.* 2015;819:341–6. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.819.341
- 28 Hasniyati M.R., Zuhailawati H., Sivakumar R., Dhindaw B.K. Optimization of multiple responses using overlaid contour plot and steepest methods analysis on hydroxyapatite coated magnesium via cold spray deposition. *Surf Coat Technol.* 2015;280:250–5. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2015.09.006
- 29 Moreau D., Corté L., Borit F., Guipont V. Cold spray of agglomerated submicronic hydroxyapatite powders for biomedical applications. In: *Proceeding of the conference ITSC 2016, DVS, Shanghai; 2016.* P. 6. DOI: 10.31399/asm.cp.itsc2016p0006
- 30 Moreau D., Borit F., Corté L., Guipont V. Cold spray coating of submicronic ceramic particles on poly(vinyl alcohol) in dry and hydrogel states. *J Therm Spray Tech.* 2017;26(5):958–69. DOI: 10.1007/s1166601705518
- 31 Chen X., Ji G., Bai X., Yao H., Chen Q., Zou Y. Microstructures and properties of cold spray nanostructured HA coatings. *J Therm Spray Tech.* 2018;27(8):1344–55. DOI: 10.1007/s1166601807761
- 32 Vilardell A.M., Cinca N., Dosta S., Cano I.G. Feasibility of using low pressure cold gas spray for the spraying of thick ceramic hydroxyapatite coatings. *Int J Applied Ceramic Tech.* 2019;16(1):221–9. DOI: 10.1111/ijac.13088
- 33 Chen Q.Y., Zou Y.L., Chen X., Bai X.-B. Morphological, structural and mechanical characterization of cold sprayed hydroxyapatite coating. *Surf Coat Technol.* 2019;357:910–23. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2018.10.056
- 34 Paterlini A., Alexis J., Balcaen Y., Ghislaine B. Cold spraying of thick biomimetic and stoichiometric apatite coatings for orthopaedic implants. *Coatings.* 2022;12(6):722. DOI: 10.3390/coatings12060722
- 35 Behera A.K., Mantry S., Roy S., Pati S. Improving bond strength and deposition efficiency of ceramic coatings via low pressure cold spraying: a study on hydroxyapatite coatings with CuZn blends. *Surf Coat Technol.* 2024;494(Part.2):131430. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2024.131430
- 36 Henaio J., GiraldoBetancur A.L., PoblanoSalas C.A., Forero P. On the deposition of coldsprayed hydroxyapatite coatings. *Surf Coat Technol.* 2024;476:130289. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2023.130289
- 37 Henaio J., GiraldoBetancur A., PoblanoSalas C.A., Espinosa-Arbelaez D.G. On the role of substrate in hydroxyapatite coating formation by cold spray. *Coatings.* 2024;14(10):1302. DOI: 10.3390/coatings14101302
- 38 Choudhuri A., Mohanty P.S., Karthikeyan J. Bioceramic composite coatings by cold spray technology. *Proceeding of the International Thermal Spray Conference.* 2009; p. 6. DOI: 10.1361/cp2009itsc0391
- 39 Zhou X., Mohanty P. Electrochemical behavior of cold sprayed hydroxyapatite/titanium composite in Hanks' solution. *Electrochim Acta.* 2012;65:134–40. DOI: 10.1016/j.electacta.2012.01.018
- 40 Gardon M., Concustell A., Dosta S., Cinca N., Cano I.G., Guilemany J.M. Improved bonding strength of bioactive cermet Cold Gas Spray coatings. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2014;45:117–21. DOI: 10.1016/j.msec.2014.08.053
- 41 Guillem Marti J., Cinca N., Punset M., Cano I.G., Gil F.J., Guilemany J.M., et al. Porous titaniumhydroxyapatite composite coating obtained on titanium by cold gas spray with high bond strength for biomedical applications. *Colloids Surf B Biointerfaces.* 2019;180:245–253. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2019.04.048.
- 42 Judd K.G., Sharma M.M., Eden T.J. Multifunctional bioceramic composite coatings deposited by cold spray. *KEM.* 2019;813:228–33. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.813.228
- 43 Forero Sossa P.A., Giraldo Betancur A.L., Poblano Salas C.A., Poblano-Salas C.A. Nozzle geometry and particle size influence on the behavior of low pressure cold sprayed hydroxyapatite particles. *Coatings.* 2022;12(12):1845. DOI: 10.3390/coatings12121845
- © Билялов А.Р., Бикмеев А.Т., Ахатов И.Ш., Джуринский Д.В., Юровских Р.С., Минасов Б.Ш., Акбашев В.Н., Галаудинов М.Ф., 2025
© Bilyalov A.R., Bikmееv A.T., Akhatov I.Sh., Dzhurinskiy D.V., Yurovskikh R.S., Minasov B.Sh., Akbashev V.N., Galautdinov M.F., 2025

Формат 60×90 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Minion Pro.

Печать офсетная. Усл. п. л. 9,5. Тираж 100 экз.

Подписано в печать: 22.12.2025. Дата выхода: 25.12.2025. Свободная цена.

16+

Отпечатано в издательстве «Триада»

Россия, 170034, г. Тверь, пр. Чайковского, д. 9, оф. 514

ISSN 2076-3093



9 772076 309004 >