

МЕДИЦИНСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА

**СПЕЦИАЛЬНЫЙ
ВЫПУСК**

2026

- 
- Интраоперационная оценка хирургического края при роботической простатэктомии
 - Робот-ассистированная радикальная цистэктомия с применением различных методов деривации мочи
 - Анализ результатов робот-ассистированной панкреатогастродуоденальной резекции
 - Флюоресцентная навигация с индоцианином зеленым при роботической простатэктомии

Journal of medical robotics

Миссия нашего журнала – продвижение научных исследований, инновационных технологий и практического применения робототехнических систем в медицине. Мы стремимся стать платформой для обмена знаниями, идеями и опытом между специалистами в области медицины, робототехники и смежных дисциплин. Наша цель – способствовать улучшению качества медицинской помощи, повышению эффективности лечебных и диагностических процессов, а также снижению рисков для пациентов и медицинского персонала.

Журнал издается под эгидой секции медицинской робототехники и мехатроники научного совета РАН «Науки о жизни».



ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

МЕДИЦИНСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА

СПЕЦИАЛЬНЫЙ
ВЫПУСК
2026

Учредитель: Д.Ю. Пушкарь

Издатель: ИД «МедИНК», 117452, Москва,
вн.тер.г. муниципальный округ Зюзино,
б-р Черноморский, д. 17, к. 1, помещ. 4/2/5

Адрес редакции: Москва,
2-й Боткинский проезд, д. 5, корп. 20
Тел.: +7 (995) 900-40-13,
e-mail: info@id-medink.ru

Выпускающий редактор Е.Г. Бабаскина
Корректор Т.Н. Помилюко
Дизайн Е.С. Остафьева
Верстка Е.С. Остафьева

Служба подписки и распространения
+7 (995) 900-40-13, info@id-medink.ru

Руководитель проекта
Н.А. Ковалева +7 (995) 900-40-13,
n.kovaleva@id-medink.ru

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе
по надзору в сфере связи, информационных технологий и
массовых коммуникаций,
ПИ № ФС 77-89730 от 23.06.2025.

При полной или частичной перепечатке
материалов ссылка на журнал
«Медицинская робототехника» обязательна.
Редакция не несет ответственности за содержание
публикуемых рекламных материалов.
В статьях представлена точка зрения авторов, которая
может не совпадать с мнением редакции.

ISSN 3033-6392 (Print)

Медицинская робототехника. 2026. Спецвыпуск. 1–58.

Подписной индекс в каталоге
«Урал пресс» – 015849.

Отпечатано в типографии ООО «Типография»
115477, Россия, г. Москва, ул. Кантемировская, д.60.
Тираж 7000 экз. Бесплатно.

<https://medrobot-j.com>

ЦЕННОСТЬ И ВКЛАД В НАУЧНОЕ СООБЩЕСТВО И ОБЩЕСТВЕННОЕ ЗДОРОВЬЕ

Инновации и прогресс:

журнал способствует внедрению
передовых технологий, что позволяет
улучшать методы диагностики, лечения
и реабилитации пациентов.

Образование и подготовка специалистов:

публикация научных статей и обзоров помогает
обучать новое поколение врачей, инженеров
и ученых, стимулируя формирование
междисциплинарного подхода в медицине.

Обмен знаниями:

журнал предоставляет платформу
для обмена результатами исследований
и опытом между исследователями
и практикующими врачами, что ускоряет внедрение
инноваций в здравоохранение.

Повышение качества медицинской помощи:

публикации в журнале способствуют
совершенствованию методов лечения и диагностики,
что в конечном итоге приводит
к улучшению качества жизни пациентов.

Общественное здоровье:

внедрение робототехнических систем
в медицину снижает нагрузку
на медицинский персонал, повышает точность
и скорость диагностики и лечения,
а также безопасность пациентов.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛА, ИНИЦИАТОР ПРОЕКТА РАН

Пушкарь Дмитрий Юрьевич, *академик РАН, д.м.н., профессор*

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Васильев Александр Олегович, *к.м.н.*

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ВЫПУСКА

Колонтарев Константин Борисович, *д.м.н., профессор*

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Адамян Лейла Вагоевна, *академик РАН, д.м.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ*

Алексеев Борис Яковлевич, *чл.-кор. РАН, д.м.н., профессор*

Говоров Александр Викторович, *профессор РАН, д.м.н.*

Камалов Армаис Альбертович, *академик РАН, д.м.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ*

Касян Геворг Рудикович, *д.м.н., профессор*

Климов Даниил Дмитриевич, *к.т.н.*

Котов Сергей Владиславович, *д.м.н., профессор*

Матвеев Всеволод Борисович, *академик РАН, д.м.н., профессор*

Попов Александр Анатольевич, *д.м.н., профессор*

Сажин Александр Вячеславович, *чл.-кор. РАН, д.м.н., профессор*

Хатьков Игорь Евгеньевич, *академик РАН, д.м.н., профессор*

Шабунин Алексей Васильевич, *академик РАН, д.м.н., профессор, заслуженный врач РФ*

Шептунов Сергей Александрович, *д.т.н.*

Шпоть Евгений Валерьевич, *д.м.н.*

Янушевич Олег Олегович, *академик РАН, д.м.н., профессор, заслуженный врач РФ*

Mottrie (Моттри) Alex (Алекс), *профессор*

Patel (Патель) Vipul (Випул), *PhD*

Rocco (Россо) Bernardo (Бернардо), *профессор*

Tewari (Тевари) Ashutosh (Ашутеш), *PhD*

Thanigasalam (Танигасалам) Ruben (Рубан)

Wiklund (Виклунд) Peter (Питер), *профессор*

The mission of the journal is advancement of scientific studies, innovative technologies, and practical application of robotic and technological systems in medicine. We strive to become a platform for exchanging knowledge, ideas and experience between specialists in medicine, robotic technologies and associated disciplines. Our goal is to promote better medical care, increase efficacy of treatment and diagnostic processes, as well as decrease risks for patients and medical personnel.

The journal is published under the auspices of the Section of Medical Robotics and Mechatronics of the "Life Sciences" Scientific Council of the Russian Academy of Sciences.



The journal of MEDICAL ROBOTICS

QUARTERLY
SCIENTIFIC JOURNAL

SPECIAL ISSUE
2026

Founder: D.Yu. Pushkar

Publisher: MedINC Publishing House,
rooms 4/2/5, 17-1 Chernomorsky Blvd., Zuzino,
Moscow 117452, Russia

Editorial Office: 5-20 2nd Botkinsky Lane,
Moscow, Russia.
Tel.: +7 (995) 900-40-13,
e-mail: info@id-medink.ru

Editor: E.G. Babaskina
Proofreader: T.N. Pomiluyko
Design: E.S. Ostafieva
Layout: E.S. Ostafieva

Subscription and distribution services:
+7 (995) 900-40-13, info@id-medink.ru

Project leader:
N.A. Kovaleva, +7 (995) 900-40-13,
n.kovaleva@id-medink.ru

The journal is registered in the Federal Service
for Supervision of Communications, Information
Technology, and Mass Media,
PI No. FS 77-89730 from 23.06.2025.

Full or partial reprinting of the materials requires
reference to The Journal of Medical Robotics.
The editorial office is not responsible for the contents
of the published promotional materials. The articles
present the authors' points of view which can disagree
with the opinion of the editorial office.

ISSN 3033-6392 (Print)

The Journal of Medical Robotics. 2026.
Special issue. 1-58.

Subscription index in the Ural Press catalogue – 015849.
Printed in the OOO Tipografiya,
Russia, 115477, Moscow, Kantemirovskaya ul., 60.
Circulation 7000 items. Free.

<https://medrobot-j.com>

VALUE AND CONTRIBUTION TO THE SCIENTIFIC COMMUNITY AND PUBLIC HEALTH

Innovations and progress:

the journal promotes implementation
of advanced technologies which allows to improve
patient diagnostics, treatment
and rehabilitation.

Education and specialist training:

publication of scientific articles and reviews supports
education of new generations of doctors, engineers
and scientists through development
of interdisciplinary approach in medicine.

Knowledge exchange:

the journal serves as a platform for exchanging
results of studies and practical experience between
scientists and practitioners speeding up
implementation of new technologies
in medical practice.

Improvement of the quality of medical care:

publications in the journal promote improvement
of treatment and diagnostic techniques leading
to improvement in patients' quality of life.

Public health:

implementation of robotic technological systems
in medicine decreases workload of the medical
personnel, improves accuracy and speed of diagnosis
and treatment, as well as patient safety.

EDITOR-IN-CHIEF OF THE JOURNAL, INITIATOR OF THE PROJECT OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

Pushkar Dmitry Yurievich, *Academician of the Russian Academy of Sciences, MD, DSc, Professor*

EXECUTIVE EDITOR

Vasiliev Aleksandr Olegovich, *MD, PhD*

EDITOR-IN-CHIEF for the ISSUE

Kolontarev Konstantin Borisovich, *MD, DSc, Professor*

EDITORIAL BOARD

Adamyan Leila Vagoevna, *Academician of the Russian Academy of Sciences, MD, DSc, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation*

Alekseev Boris Yakovlevich, *Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, MD, DSc, Professor*

Govorov Aleksandr Viktorovich, *Professor of the Russian Academy of Sciences, MD, DSc*

Kamalov Armais Albertovich, *Academician of the Russian Academy of Sciences, MD, DSc, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation*

Kasyan Gevorg Rudikovich, *MD, DSc, Professor*

Kotov Sergei Vladislavovich, *MD, DSc, Professor*

Klimov Daniil Dmitrievich, *PhD*

Matveev Vsevolod Borisovich, *Academician of the Russian Academy of Sciences, MD, DSc, Professor*

Popov Aleksandr Anatolievich, *MD, DSc, Professor*

Sazhin Aleksandr Vyacheslavovich, *Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, MD, DSc, Professor*

Khatkov Igor Evgenievich, *Academician of the Russian Academy of Sciences, MD, DSc, Professor*

Shabunin Aleksei Vasilievich, *Academician of the Russian Academy of Sciences, MD, DSc, Professor, Distinguished Doctor of the Russian Federation*

Sheptunov Sergei Aleksandrovich, *DSc*

Shpot Evgeny Valerievich, *MD, DSc*

Yanushevich Oleg Olegovich, *Academician of the Russian Academy of Sciences, MD, DSc, Professor, Distinguished Doctor of the Russian Federation*

Motttrie Alex, *Professor*

Patel Vipul, *PhD*

Rocco Bernardo, *Professor*

Tewari Ashutosh, *PhD*

Thanigasalam Ruben

Wiklund Peter, *Professor*

Интервью

Научный журнал «Медицинская робототехника»: зачем, о чем и для кого?	
Интервью с Д.Ю. Пушкарем	8

Исследования

М.А. Tulinov, Е.А. Sokolov, Е.И. Veliev, D.Yu. Pushkar, O.V. Paklina, G.V. Knyshinskiy, L.V. Reshetov	
Robot-assisted radical prostatectomy with intraoperative assessment of surgical margin (per the CELPM protocol)	11
М.А. Тулинов, Е.А. Соколов, Е.И. Велиев, Д.Ю. Пушкарь, О.В. Паклина, Г.В. Кнышинский, Л.В. Решетов	
Радикальная робот-ассистированная простатэктомия с интраоперационной оценкой состояния хирургического края (по протоколу ЦИКЛОП)	17
М.Б. Зингеренко, Д.А. Лахно, А.Г. Иванов, И.О. Аванесян	
Робот-ассистированная радикальная цистэктомия: техника и результаты	25
А.В. Шабунин, И.Л. Андрейцев, М.М. Тавобилов, А.А. Карпов, А.В. Ланцынова, М.Н. Аладин, Е.Б. Кудряш, К.А. Абрамов	
Робот-ассистированная панкреатогастродуоденальная резекция: технические особенности и результаты 178 операций	32

Обзор литературы

Г.А. Монастырный, А.О. Васильев, А.В. Говоров, К.Б. Колонтарев, В.В. Дьяков, Д.Ю. Пушкарь	
Флюоресцентная навигация с применением индоцианина зеленого при робот-ассистированной радикальной простатэктомии: обзор литературы	43

История медицины

Робот-ассистированная хирургия: прошлое, настоящее и будущее	50
--	----

Interview

The journal of Medical Robotics: Who is the reader and what is the purpose? <i>Interview with D.Yu. Pushkar</i>	8
--	---

Research articles

M.A. Tulinov, E.A. Sokolov, E.I. Veliev, D.Yu. Pushkar, O.V. Paklina, G.V. Knyshinskiy, L.V. Reshetov Robot-assisted radical prostatectomy with intraoperative assessment of surgical margin (per the CELPM protocol)	11
M.A. Tulinov, E.A. Sokolov, E.I. Veliev, D.Yu. Pushkar, O.V. Paklina, G.V. Knyshinskiy, L.V. Reshetov Robot-assisted radical prostatectomy with intraoperative assessment of surgical margin (per the CELPM protocol)	17
M.B. Zingerenko, D.A. Lakhno, A.G. Ivanov, I.O. Avanesyan Robot-assisted radical cystectomy: Technique and results.	25
A.V. Shabunin, I.L. Andreytsev, M.M. Tavobilov, A.A. Karpov, A.V. Lantsynova, M.N. Aladin, E.B. Kudryash, K.A. Abramov Robotic pancreaticoduodenectomy: technical details and results of 178 operations	32

Literature review

G.A. Monastyrny, A.O. Vasilyev, A.V. Govorov, K.B. Kolontarev, V.V. Dyakov, D.Yu. Pushkar Indocyanine green fluorescence navigation in robot-assisted radical prostatectomy: a literature review	43
--	----

History of medicine

Robot-assisted surgery: past, present and future.	50
--	----

Научный журнал «Медицинская робототехника»: зачем, о чем и для кого?

Дмитрий Юрьевич Пушкарь – российский врач-уролог, хирург, академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой урологии Российского университета медицины Минздрава России, лауреат Государственной премии РФ в области науки и технологий и создатель журнала «Медицинская робототехника» – рассказывает о значении роботических технологий в медицине и о важности просвещения в этой области.

? — Дмитрий Юрьевич, начнем с азов: что такое медицинская робототехника и как она используется? В какой степени применение робототехники улучшает качество оказания медицинской помощи?

— Возможно, вы будете удивлены, но частоту использования в медицине робототехники можно сравнить с частотой ее применения на конвейерах для сборки каких-то машин и деталей, т.е. это уже давно не уникальная история. Ведь сегодня пациенты при получении медицинской помощи независимо от заболевания нацелены на особый, блестящий результат. Результат, который позволяет продолжать качественную жизнь. А врачу нужен помощник. Робот — это как раз тот самый помощник, это инструмент: хирургический и оптический ассистент, автоматический анализатор, направитель иголки — можно долго перечислять. Медицинская робототехника — это дополнительная «рука» и даже дополнительный «мозг», если робот применяет элементы искусственного интеллекта, подсказывает варианты действий. Конечно, ему еще учиться и учиться — пока что искусственный интеллект не может заменить человека, и робот пока не может полностью заменить хирурга. Но мы видим, с какой скоростью развивается это направление — разумеется, оно будет применяться в роботизированной медицине.

? — Для многих медицинская робототехника ассоциируется именно с робот-ассистированной хирургией, но ведь само понятие намного шире?

— Совершенно справедливо! Медицинская робототехника объединяет огромное количество специалистов в области лабораторной медицины, генетики, других дисциплин. Например, автоматическое растворение без робот-ассистированной технологии сегодня невозможно, и даже такая знакомая всем со школы вещь, как микроскоп, в современных реалиях имеет прямое отношение к робототехнике. Робоскопы, цифровые микроскопы помогают очень быстро распознать наличие некоторых тяжелых патологий, например онкологических.

Робототехника в широком смысле этого слова используется уже достаточно давно. Да, робот-ассистированная хирургия бурно развивается последние двадцать пять — тридцать лет. Но ее основы были заложены намного раньше. Еще в пятидесятых годах в СССР были созданы функциональные сосудосшивающие аппараты и сшиватель кишок для наложения анастомозов ЖКТ. Эти приборы стали настоящим прорывом в медицине, они получили мировое признание, следом за ними были разработаны и другие модели, изменившие хирургию. Без этих изобретений было бы невозможно создать современные роботические системы, потому что в них для наложения швов используются именно такие технологии. Еще один пример — это наши отечественные аппараты Илизарова. Наши российские ученые вообще внесли большой вклад в развитие робототехники, в том числе робот-ассистированной хирургии, ее узлов и элементов, без которых она сегодня немыслима.

? — Кого считают отцом-основателем медицинской робототехники?

— Какого-то одного «отца-основателя» нет. У истоков стояли врачи, инженеры и исследователи со всего мира, которые непосредственно занимались робототехникой, часто перенимая идеи друг друга, доводя их сначала до ума, а потом и до совершенства. Но если мы говорим о робот-ассистированной хирургии, то ее история началась с компании Intuitive Surgical, представившей в 1999 году хирургическую систему da Vinci, которая сокращает длительность операции, делает движения хирурга максимально точными, уменьшает травматичность и послеоперационную боль. В журнале мы обязательно уделим внимание истории медицинской робототехники.

? — Как появилась идея создания российского научного журнала о медицинской робототехнике?

— Идея принадлежит Российской академии наук. Секция медицинской робототехники и мехатроники научного совета РАН «Науки о жизни» решила, что нашей

стране, русскоязычному врачебному сообществу нужен научно-практический журнал, который будет освещать все возможности современной робот-ассистированной медицины — причем не только хирургии. Российские ученые активно вовлечены в робот-ассистированную медицину, они и используют ее технологии, и сами создают новые роботизированные системы. Уже существует Ассоциация роботических хирургов и урогинекологов России, объединяющая экспертов с целью развития высокотехнологичных вмешательств в урологии, гинекологии, травматологии, общей хирургии. Прошел первый конгресс, проводятся научно-практические конференции. Стало очевидно, что экспертная площадка для обмена практическим опытом и научным знанием совершенно необходима. Создание журнала поручено мне непосредственно Академией наук. С одной стороны, это очень приятно, с другой — невероятно ответственно.

? — Отечественный журнал будет отличаться от других уже существующих в мире научных журналов о медицинской робототехнике?

— Да, и одно из основных отличий в том, что наш журнал создает именно РАН, т.е. большая государственная академическая структура, а не частная профессиональная ассоциация. Это означает огромные возможности для привлечения к сотрудничеству самых лучших экспертов — врачей и ученых не только нашей страны, но и мира. Отовсюду, где разрешены к использованию и используются роботические медицинские системы. У нас в стране, например, мы имеем возможность использовать в хирургии и тестировать шесть-семь роботов. Медицина как наука открыта, ее развитие невозможно сковать никакими рамками, и мы ориентируемся на мировые достижения, будем продвигать международное сотрудничество и развивать собственные российские технологии. У нас есть программа создания российского робот-ассистированного абдоминального хирургического комплекса. В настоящее время она апробируется, и мы ожидаем получения государственного регистрационного удостоверения уже в текущем году. Это чрезвычайно важно, и не только потому, что свое, отечественное, мы воспринимаем как самое дорогое, гордимся российским продуктом. Дело и в возможности ремонтировать робота, ухаживать за таким высокотехнологичным оборудованием. Собственный российский робот открывает нам и эти возможности.

И, я надеюсь, мы поговорим о нашем роботе непосредственно с профессором Сергеем Александровичем Шептуновым — создателем междисциплинарного научного направления «Ассистирующая мехатронная медицина и роботхирургия», основным

разработчиком российского абдоминального хирургического робота.

? — Финальная стадия работы над отечественным роботом — это одна из причин, по которым журнал появляется сейчас?

— Скорее, нет. В профессиональном сообществе мы говорим о медицинской робототехнике очень давно. У нас написаны руководства, написаны монографии. Есть несколько десятков методических пособий — как отечественных, так и зарубежных. Накоплен колоссальный российский и мировой опыт: сегодня уже есть ответы на многие вопросы, которые были заданы раньше. И, что особенно важно, есть целевая аудитория, есть профессиональный и общественный запрос на просвещение и выпуск периодического научного издания в этой области.

? — Кто будет читателем, для кого создан журнал? Обычному терапевту в районной поликлинике он пригодится?

— С одной стороны, наше издание адресовано врачам-специалистам: урологам, онкоурологам, андрологам, хирургам, детским урологам-андрологам, нефрологам, гинекологам и онкогинекологам, трансплантологам, анестезиологам, а также инженерам и научным сотрудникам. Для них это платформа для обмена опытом, а не занимательное чтение. Но вместе с тем мы рассчитываем на самый широкий круг читателей, начиная со студентов и аспирантов медицинских и технических вузов и заканчивая всеми, кто интересуется инновационными технологиями в здравоохранении. В том числе и на школьников — учащихся специальных медицинских и технических классов. Для таких умных и мотивированных ребят планируется специальная рубрика.

Отмечу также, что терапевт — важная и сложная медицинская специальность, и такой врач должен быть в курсе современных возможностей не только консервативного лечения, но и хирургии. Одна из задач хорошего терапевта — верно сориентировать пациента и направить его по правильному медицинскому маршруту, а это невозможно без широкого медицинского кругозора, без современных знаний. Поэтому — да, врач общей практики, семейный врач, терапевт — это тоже наш важный и уважаемый читатель, мы надеемся.

? — Как будет строиться работа над журналом?

— У каждого номера будет свой приглашенный ответственный редактор. Я считаю это очень важным для независимой оценки и непредвзятости отбора и рецензирования статей, а еще — для того, чтобы журнал был живым, творческим, сильным. И будет экспертный совет, редколлегия, которая занимается

отбором материалов для каждого номера. Состав редакции тоже будет меняться и формироваться из самых выдающихся ученых России.

Мы не намерены искусственно ограничивать контент: у таких врачей, у научных коллективов в нашей стране должна быть платформа, профессиональная площадка для высказывания, для публикации исследований и их результатов, описания клинических случаев с применением медицинской робототехники. Поэтому мы будем заказывать авторам статьи на определенные темы. Заказная статья в нашем случае — это статья, при работе над которой ученый может применить и продемонстрировать свои знания и опыт, сказать свое слово в науке. Заданная тема — всегда тема благодарная, ведь у специалиста есть время и желание ею заниматься. Мы обязательно будем давать трибуну молодым ученым из регионов. Но вместе с тем наш журнал будет ориентирован и на выдающиеся достижения в сфере медицинской робототехники.

? — С какой периодичностью будет выходить «Медицинская робототехника» и о чем планируется рассказывать?

— Журнал будет выходить четыре раза в год. На его страницах — конечно, и онлайн в том числе — читатели узнают о робот-ассистированной хирургии, о клинических результатах применения робототехники, о новых роботизированных системах. Уделим внимание сравнительному анализу различных методик, диагностическим роботам, автоматическим системам визуализации, лабораторным комплексам, алгоритмам управления роботами, машинному обучению в диагностике и, конечно, возможностям искусственного

интеллекта. В ближайших планах — разговор с коллегами, российскими специалистами, которые примут участие в большой научной конференции «Искусственный интеллект в урологии» 21–22 мая 2026 года в Казахстане.

Мы будем публиковать не только научные статьи, но и научные интервью с практикующими врачами, с экспертами, с известными учеными из самых разных стран мира. Прежде всего будем спрашивать их об опыте применения робот-ассистированных методик. Это, например, HIFU — методика высокоинтенсивного локального воздействия сфокусированным ультразвуком на глубоко расположенные ткани, а также криоабляция. Это методики, которые используют нейрохирурги, гинекологи, врачи других специальностей. В настоящее время есть очень много таких робот-ассистированных методик — и не только хирургических.

? — А что из всего этого многообразия тем ближе именно вам?

— Сложный вопрос: мне все очень близко, потому что я посвятил этому много лет. Но надо смотреть вперед, и мне особенно интересны технологии будущего. И поверьте, это не только искусственный интеллект. Основа — все равно люди. Будущее и технологии будущего — это вовлеченность всех вас, читателей, в сферу медицинской робототехники.

— Благодарим за интересный рассказ, Дмитрий Юрьевич! Успехов в важном деле!

— Спасибо! Идем вперед вместе с читателями и наукой.

Robot-assisted radical prostatectomy with intraoperative assessment of surgical margin (per the CELPM protocol)

Contacts:

Maksim Andreevich
Tulinov
maxtulinov@mail.ru

M.A. Tulinov^{1,2}, E.A. Sokolov^{1,2}, E.I. Veliev^{1,2}, D.Yu. Pushkar^{1,3}, O.V. Paklina⁴, G.V. Knyshinskiy¹,
L.V. Reshetov¹

¹S.P. Botkin Moscow Multidisciplinary Scientific and Clinical Center, Moscow Healthcare Department;
5 2nd Botkinsky Proezd, Moscow 125284, Russia

²Department of Urology and Surgical Andrology, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education,
Ministry of Health of Russia; 2/1–1 Barrikadnaya St., Moscow 125993, Russia

³Department of Urology, Russian University of Medicine, Ministry of Health of Russia; 20–1 Delegatskaya St., Moscow
127473, Russia

⁴A.S. Loginov Moscow Clinical Research Center of the Moscow Healthcare Department; 1–1 Novogireevskaya St.,
Moscow 111123, Russia

Background. Decision on using nerve-sparing technique during robot-assisted radical prostatectomy (RARP) involves a compromise between oncological safety and preservation of erectile function affecting patients' quality of life. One of the approaches to decreasing oncological risks of nerve-sparing technique is intraoperative histological examination of the areas of the prostate neighboring the neurovascular bundle.

Aim. To evaluate the efficacy of express intraoperative histological examination of prostate regions adjacent to neurovascular bundle (CELPM protocol) during nerve-sparing RARP.

Materials and methods. Between March 2019 and October 2025 at the S.P. Botkin Moscow Multidisciplinary Scientific and Clinical Center of the Moscow Healthcare Department, nerve-sparing RARP with express histological examination of the lateral prostate margin was performed in 58 patients. All surgical interventions were performed using Si and Xi da Vinci models through transperitoneal access by two surgeons. Express and final histological examinations of all samples were performed at the Division of Pathological Anatomy of the Center. Presence of tumor tissue in the stained resection margin was considered a positive result of the examination.

Results. Mean time to CELPM was 35 minutes. Mean operative time was 190 min. Unilateral and bilateral preservation of the neurovascular bundle was performed in 22.4 and 77.6 % of cases, respectively. Risk of recurrence was intermediate in 17.2 % of cases and high in 72.4 % of cases. Extraprostatic tumor extension per the final histological examination was observed in 22.4 % of patients. The CELPM protocol showed tumor tissue in the resection margin in 23 % of cases. Planned histological examination of secondarily resected neurovascular bundles confirmed tumor process in 10 of 11 cases (90.9 %). In 1 case, oncological process in secondarily resected tissue was not confirmed. Tumor tissue in the resection margin during planned histological examination of the gross specimen (prostate, seminal vesicles, parts of the distal urethra/bladder neck) was found in 9 (15.5 %) of 58 cases. It is important to note that in all cases it was found outside the scope of previous express histological examination.

Conclusion. The use of express histological examination technique (CELPM protocol) during nerve-sparing RARP allows to intraoperatively evaluate the status of resection margin which allows to resect the neurovascular bundles with tumor tissue during a single surgery decreasing the risk of early biochemical recurrence. This technique might extend the indications for nerve-sparing RARP, especially in patients with intermediate and high risk.

Keywords: prostate cancer, robot-assisted radical prostatectomy, resection margin, intraoperative histological examination, nerve-sparing technique, CELPM

For citation: Tulinov M.A., Sokolov E.A., Veliev E.I. et al. Robot-assisted radical prostatectomy with intraoperative assessment of surgical margin (per the CELPM protocol). *Meditsinskaya robototekhnika* = Journal of Medical Robotics 2025;1(Special issue):11–6.

DOI: <https://doi.org/10.63769/3033-6392-2025-1-1-11-16>

BACKGROUND

Currently, robot-assisted radical prostatectomy (RARP) is one of the main surgical techniques for treatment of patients with clinically localized prostate cancer. Modern evaluation of efficacy of surgical treatment is performed in the framework of the Pentafecta concept which includes absence of biochemical recurrence, continence, potency, no/minimal postoperative complications, and negative surgical margin (SM) [1]. Despite this, oncological radicalness remains the main goal and priority of the surgery.

Radical prostatectomy nerve-sparing technique described by P.C. Walsh positively affects erectile function recovery after surgery [2], however preservation of neurovascular bundles potentially can increase the risk of SM positivity and, therefore, biochemical recurrence of prostate cancer [3]. To achieve a compromise between oncological safety and preservation of erectile function, T. Schlomm et al. developed a technique of express histological examination of the prostate areas neighboring the neurovascular bundle NeuroSAFE [4] which became one of the approaches to decreasing oncological risks during nerve-sparing technique, as well as potentially widening indications for its use.

In clinical practice, we use the CELPM (*cyto* examination of lateral prostate margin, *ЦИКЛОП* in Russian) protocol [5]. The T. Schlomm et al. study was the reason for its implementation and further adaptation by the same group of authors [6].

MATERIALS AND METHODS

Between March 2019 and October 2025 at the S.P. Botkin Moscow Multidisciplinary Scientific and Clinical Center of the Moscow Healthcare Department, nerve-sparing RARP with express intraoperative histological examination of the lateral prostate margin (CELPM protocol) was performed in 58 patients with prostate cancer. All surgical interventions were performed using the da Vinci Si and Xi robotic systems (Intuitive Surgical®) through transperitoneal access by two surgeons. Express and final histological examinations of all samples were performed at the Division of Pathological Anatomy of the Center. Presence of tumor tissue in the stained resection margin was considered positive SM.

Technique of intraoperative histological examination of frozen sections of the prostate neighboring the neurovascular bundle per the CELMP protocol is as follows. Resected prostate with seminal vesicles is placed in an endoscopic container and removed through widened supraumbilical access (camera port). The gross specimen is stained with dyes (Fig. 1, *a*) and sent to the Division of Pathological Anatomy. Depending on the clinical situation, the CELMP protocol is used on one or both sides. A tissue sample along the posterolateral surface of the prostate neighboring the neurovascular bundle is dissected (Fig. 1, *b*). Then the sample is frozen at -27°C

(Fig. 1, *b*), sections of the outer surface of thickness $7-9\text{ }\mu\text{m}$ are prepared, fixed on a microslide, stained with hematoxylin and eosin (Fig. 1, *c*) and examined by a pathologist.

Meanwhile in the operating room, camera is reconnected, pneumoperitoneum is restored, and the surgery continues: hemostasis is performed, vesicourethral anastomosis is formed, and if indicated pelvic lymph node dissection is performed. Therefore, increased operative time is almost fully eliminated.

After receiving information on negative SM status, the surgery is completed; if SM is positive, the spared neurovascular bundle is resected (Fig. 2).

RESULTS

Preoperative characteristics of the patients: mean age, baseline prostate-specific antigen level, prostate volume, and body mass index are presented in Table 1.

The risk of recurrence was intermediate in 17.2 % of patients, high in 72.4 %. Mean time of CELMP from the moment of gross specimen extraction to confirmation of SM status was 35 min. Mean total operative time was 190 min. Unilateral and bilateral sparing of the neurovascular bundle was performed in 22.4 and 77.6 % of cases, respectively. Extraprostatic tumor extension per the final histological examination was reported in 22.4 % of patients (stage increased to pT3).

Positive SM status during nerve-sparing RARP using the CELMP protocol was found in 11 (23 %) of 58 cases. Planned histological examination of secondarily resected neurovascular bundles confirmed tumor process in 10 (90.9 %) of 11 cases. In 1 case, signs of oncological process in the resected tissue were not found (Table 2).

Positive SM status during the planned histological examination of the whole specimen (prostate, seminal vesicles, parts of the distal urethra/bladder neck) was observed in 9 (15.5 %) of 58 cases. It is important to note that in all cases positive SM was found outside the area of express histological examination (Fig. 3). During the final histological examination, the number of patients with pathological stage T2 was 45 (77.6 %), among them 4 (8.9 %) had positive SM status; the number of patients with pathological stage T3 was 13 (22.4 %), and positive SM status was reported in 5 (38.4 %) of them (Table 2).

DISCUSSION

The accumulated clinical experience in combination with technological progress and modern understanding of anatomy of the neurovascular bundles promotes improved functional outcomes in nerve-sparing surgeries, increased oncological safety and allows to use personalized approach in patient selection and determination of the volume of the spared structures [7]. However, positive SM status determined after RARP is a significant predictor of biochemical recurrence, especially when nerve-sparing

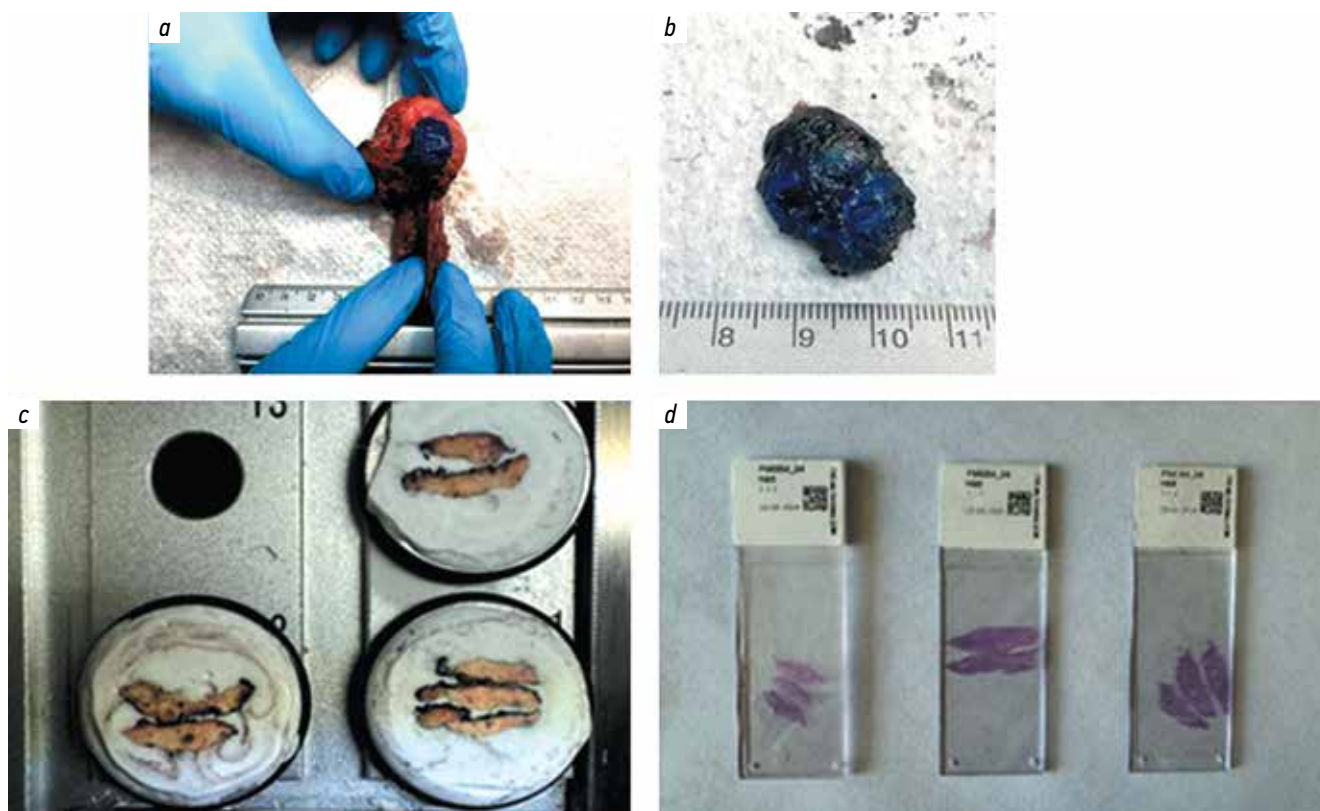


Fig. 1

Preparation for intraoperative histological examination of frozen sections of the prostate neighboring the neurovascular bundle per the CELPM protocol: a – staining of the lateral surface of each prostate lobe; b – section of the area of interest of the lateral surface of the prostate; c – fragment cryotomy; d – microslides after hematoxylin and eosin staining

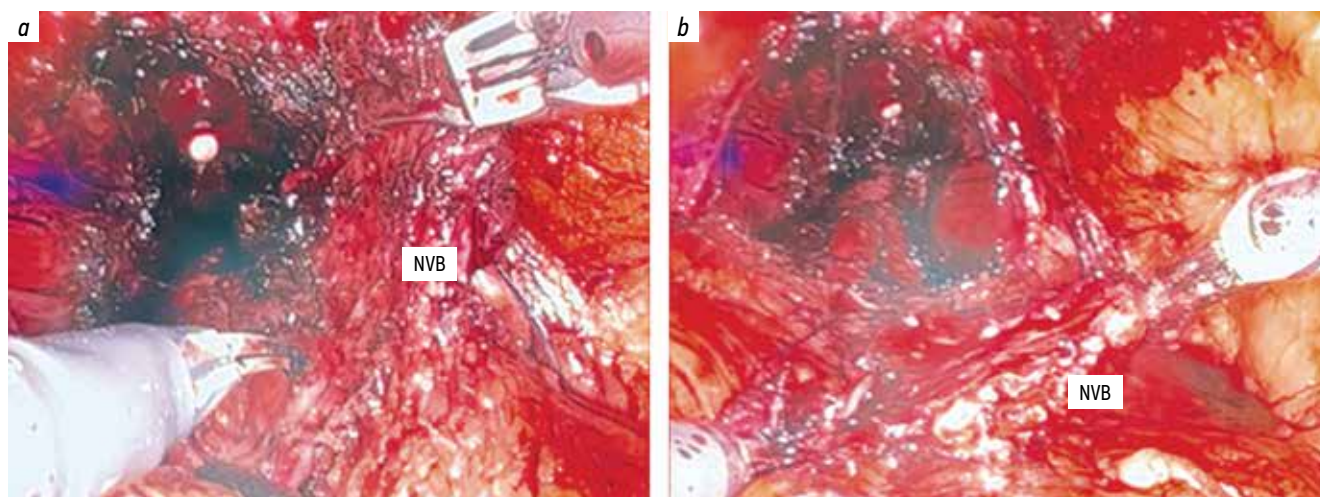


Fig. 2

Stage of robot-assisted radical prostatectomy for positive surgical margin identified during intraoperative histological examination per the CELPM protocol: a – resection of the spared neurovascular bundle (NVB); b – resected gross specimen

techniques are used [8]. Positive SM status often has iatrogenic nature associated with the technique or limitations of preoperative visualization which underlines the necessity

of implementing effective methods of intraoperative identification of neurovascular bundles [9], as well as intraoperative monitoring of resection margin status.

Table 1

Characteristics of the patients who underwent nerve-sparing robot-assisted radical prostatectomy

Characteristic	Value
Age at the time of surgery, M (min–max), years	60 (50–75)
Prostate-specific antigen level prior to surgery, M (min–max), ng/mL	7.32 (2.3–17.0)
Prostate volume, M (min–max), cm ³	44.84 (22–80)
Body mass index, M (min–max), kg/m ²	27.9 (21.6–35.4)
International Index of Erectile Function, M (min–max), score	22.4 (16–25)
Number of patients with preoperative risk of recurrence (score per the guidelines of the European Association of Urology), abs. (%): low intermediate high	6 (10.4) 10 (17.2) 42 (72.4)
Number of patients with clinical stage, abs. (%): T1c T2b–c	6 (10.4) 52 (89.6)
Number of patients with Gleason score (per preoperative biopsy data), abs. (%): 3 + 3 3 + 4 4 + 3 4 + 4	8 (13.8) 37 (63.8) 12 (20.7) 1 (1.7)
Operative time, M (min–max), min	190 (120–240)
Number of patients for whom nerve-sparing technique was used, abs. (%): unilateral bilateral	13 (22.4) 45 (77.6)
Number of patients with pathological stage, abs. (%): ≤T2 T3a–b	45 (77.6) 13 (22.4)

Currently, a number of methods are being developed aimed at expansion of indications for nerve-sparing techniques without increased risk of positive SM status. Among them, optical coherence tomography, optical spectroscopy, augmented 3D reality [10, 11]. Scientific literature reports on a number of promising technologies including *ex vivo* confocal microscopy and positron emission tomography/computed tomography for examination of surgical material. These methods allow to perform complete analysis of the whole prostate in a shorter time. However, their objective effect on functional outcomes and oncological safety are yet to be established [12].

A significant number of scientific publications report that express histological examination of the prostate parts

Table 2

Results of express and planned histological examination during robot-assisted radical prostatectomy per the CELPM protocol (*n* = 58)

Examination	Characteristic	Number of cases, abs. (%)
Express	Positive resection margin	11 (23.0)
Planned	Presence of tumor process in secondarily resected tissues	10 (90.9)
	Positive status of surgical margin during planned histological examination of the whole gross specimen*	9 (15.5)
	Positive status of surgical margin during planned histological examination depending on pathological stage: T2 T3	4 (8.9) 5 (38.4)

*Outside the area of previous express histological examination.

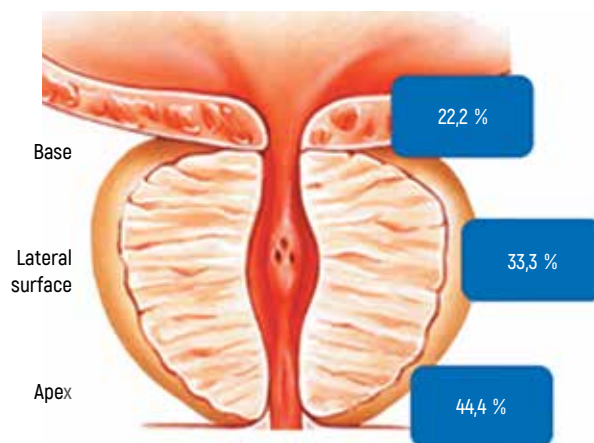


Fig. 3

Location of surgical margins with positive status per planned histological examination

neighboring the neurovascular bundle effectively decreases the frequency of positive SM in nerve-sparing radical prostatectomy [13–15] and improves functional outcomes [16]. The NeuroSAFE protocol and its adaptation for robot-assisted surgery which we used as a starting point allowed to expand indications for nerve-sparing technique. The authors of the protocol presented data on 11,069 cases of open and robot-assisted prostatectomies performed per the NeuroSAFE protocol. They reported an increase in the total number of prostatectomies with nerve sparing from 81 to 97 %. The frequency of positive SM decreased from 22 to 15 % for all clinical stages [6]. E. Dinneen et al. report that express histological examination of frozen

sections had sensitivity of 100 %, specificity of 92.7 %, prognostic value of positive result of 75 %, prognostic value of negative result of 100 % [17].

Despite all these data, some studies show that the technique does not affect the rate of biochemical recurrence. F. Ambrosini et al. described their 20-year experience of using the NeuroSAFE protocol. With median follow up of 121 months, no differences in the rate of biochemical recurrence after 10 years were observed between the groups of patients who underwent radical prostatectomy with the NeuroSAFE protocol and without it. Thus, for stage pT2 the rates were 81 and 84 % ($p = 0.06$); for pT3a – 58 and 63 % ($p = 0.6$); for pT3b and higher – 22 and 27 % ($p = 0.99$), respectively. However, it should be noted that the patients of the first group reported better erectile function after 1 year than patients who underwent standard nerve-sparing radical prostatectomy (68 % *versus* 58 %, $p = 0.02$) [18].

In our study, positive SM was found in 11 (23 %) patients during express intraoperative histological examination. In this patient group, secondary resection of the neurovascular bundles and planned histological examination showed the presence of tumor tissue in 90.9 % of cases. Relatively high percentage (15.5 %) of positive SM

during the final histological examination was caused by the presence of tumor tissue outside the area examined per the CELMP protocol. High rate of extraprostatic expansion per the planned histological examination (22.4 %) demonstrates the advisability of intraoperative histological examination in patients with intermediate and high risks of recurrence.

In the future, we plan to analyze functional and oncological outcomes in patients who underwent nerve-sparing RARP with and without express intraoperative histological examination. We hope that further studies of the CELMP protocol will allow to expand indications for nerve-sparing technique, improve recurrence-free survival, and recovery of erectile function.

CONCLUSION

The use of express histological examination technique per the CELMP protocol during nerve-sparing RARP allows to intraoperatively evaluate the status of SM which allows, if necessary, to perform secondary resection of the neurovascular bundles in a single surgery decreasing the risk of early biochemical recurrence. This technique might extend the indications for nerve-sparing RARP, especially in patients with intermediate and high risk.

References

1. Afferi L., Moschini M., Baumeister P. et al. Trends in risk-group distribution and Pentafecta outcomes in patients treated with nerve-sparing, robot-assisted radical prostatectomy: a 10-year low-intermediate volume single-center experience. *World J Urol* 2021;39(2):389–7. DOI: 10.1007/s00345-020-03206-y
2. Walsh P.C., Donker P.J. Impotence following radical prostatectomy: insight into etiology and prevention. *J Urol* 1982;128(3):492–7. DOI: 10.1016/s0022-5347(17)53012-8
3. Nguyen L.N., Head L., Witiuk K. et al. The risks and benefits of cavernous neurovascular bundle sparing during radical prostatectomy: a systematic review and meta-analysis. *J Urol* 2017;198(4):760–9. DOI: 10.1016/j.juro.2017.02.3344
4. Schlomm T., Tennstedt P., Huxhold C. et al. Neurovascular structure-adjacent frozen-section examination (NeuroSAFE) increases nerve-sparing frequency and reduces positive surgical margins in open and robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy: experience after 11,069 consecutive patients. *Eur Urol* 2012;62(2):333–40. DOI: 10.1016/j.eururo.2012.04.057
5. Sokolov E.A., Veliev E.I., Paklina O.V., Knyshinsky G.V. Intraoperative histological frozen-section examination of prostate regions adjacent to neurovascular bundle: initial implementation experience during robotic-assisted radical prostatectomy. *Vestnik sovremennoy klinicheskoy meditsiny = The Bulletin of Contemporary Clinical Medicine* 2019;12(6):66–71. DOI: 10.20969/VSKM.2019.12(6).66-71
6. Beyer B., Schlomm T., Tennstedt P. et al. A feasible and time-efficient adaptation of NeuroSAFE for da Vinci robot-assisted radical prostatectomy. *Eur Urol* 2014;66(1):138–44. DOI: 10.1016/j.eururo.2013.12.014
7. Sokolov E.A., Veliev E.I., Veliev R.A. Current view on nerve-sparing radical prostatectomy. *Onkourologiya = Cancer Urology* 2019;15(3):17–27. (In Russ.) DOI: 10.17650/1726-9776-2019-15-3-17-27
8. Keller E.X., Bachofner J., Britschgi A.J. et al. Prognostic value of unifocal and multifocal positive surgical margins in a large series of robot-assisted radical prostatectomy for prostate cancer. *World J Urol* 2019;37(9):1837–44. DOI: 10.1007/s00345-018-2578-y
9. Pushkar D.Yu., Kolontarev K.B. Robot-assisted radical prostatectomy – functional result. Part II. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova = Pirogov Russian Journal of Surgery* 2019;4(4):80–6. (In Russ.). DOI: 10.17116/hirurgia201904180
10. Dangle P.P., Shah K.K., Kaffenberger B., Patel V.R. The use of high resolution optical coherence tomography to evaluate robotic radical prostatectomy specimens. *Int Braz J Urol* 2009;35(3):344–53. DOI: 10.1590/s1677-55382009000300011
11. Porpiglia F., Checcucci E., Amparore D. et al. Three-dimensional elastic augmented-reality robot-assisted radical prostatectomy using hyperaccuracy three-dimensional reconstruction technology: a step further in the identification of capsular involvement. *Eur Urol* 2019;76(4):505–14. DOI: 10.1016/j.eururo.2019.03.037
12. Windisch O., Diana M., Tilki D. et al. Intraoperative technologies to assess margin status during radical prostatectomy – a narrative review. *Prostate Cancer Prostatic Dis* 2025;28(1):81–8. DOI: 10.1038/s41391-024-00868-2
13. Van der Slot M.A., den Bakker M.A., Tan T.S.C. et al. NeuroSAFE in radical prostatectomy increases the rate of nerve-sparing surgery without affecting oncological outcome. *BJU Int* 2022;130(5):628–36. DOI: 10.1111/bju.15771
14. Kroon L.J., Remmers S., Busstra M.B. et al. Centralized prostatectomy with intraoperative NeuroSAFE margin assessment

- improves surgical margin control. *Histopathology* 2024;85(5):760–8. DOI: 10.1111/his.15291
15. Noël J., Spencer N.H., Lodia S. et al. Neurovascular structure-adjacent frozen-section examination robotic-assisted radical prostatectomy: outcomes from 500 consecutive cases in the UK. *J Robot Surg* 2022;16(4):951–6. DOI: 10.1007/s11701-021-01324-2. Erratum in: *J Robot Surg* 2022;16(4):957. DOI: 10.1007/s11701-021-01337-x
 16. Dinneen E., Almeida-Magana R., Al-Hammouri T. et al. Effect of NeuroSAFE-guided RARP versus standard RARP on erectile function and urinary continence in patients with localised prostate cancer (NeuroSAFE PROOF): a multicentre, patient-blinded, randomised, controlled phase 3 trial. *Lancet Oncol* 2025;26(4):447–58. DOI: 10.1016/S1470-2045(25)00091-9
 17. Dinneen E., Haider A., Freeman A. et al. NeuroSAFE PROOF Randomised Controlled Feasibility Study: brief report of perioperative outcomes, histological concordance, and feasibility. *Eur Urol* 2020;78(3):476–8. DOI: 10.1016/j.eururo.2020.03.052
 18. Ambrosini F., Preisser F., Tilki D. et al. Nerve-sparing radical prostatectomy using the neurovascular structure-adjacent frozen-section examination (NeuroSAFE): results after 20 years of experience. *Prostate Cancer Prostatic Dis* 2025;28(2):483–9. DOI: 10.1038/s41391-024-00851-x

Authors' contributions

M.A. Tulinov: literature search, data processing and analysis, manuscript writing, assisting during surgical interventions;
 E.A. Sokolov: study idea and design, development of the studied technique (authorship), manuscript editing, assisting during surgical interventions;
 E.I. Veliev: performing surgical interventions, study idea and design, development of the studied technique (authorship), manuscript editing;
 D.Yu. Pushkar: performing surgical interventions;
 O.V. Paklina: histological examinations, writing of the Materials and Methods section;
 G.V. Knyshinskiy: histological examinations, writing of the Materials and Methods section;
 L.V. Reshetov: histological examinations, writing of the Materials and Methods section.

ORCID of authors

M.A. Tulinov: <https://orcid.org/0009-0006-6991-6617>
 E.A. Sokolov: <https://orcid.org/0000-0002-8887-5789>
 E.I. Veliev: <https://orcid.org/0000-0002-1249-7224>
 D.Yu. Pushkar: <https://orcid.org/0000-0002-6096-5723>
 O.V. Paklina: <https://orcid.org/0000-0001-6373-1888>

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Funding

The study was performed without external funding.

Compliance with patient rights

All patients gave written informed consent to participate in this study.

Article submitted: 15.10.2025.
 Accepted for publication: 25.10.2025.
 Peer reviewed: 05.11.2025.
 Published online: 20.02.2026.

Радикальная робот-ассистированная простатэктомия с интраоперационной оценкой состояния хирургического края (по протоколу ЦИКЛОП)

Контакты:

Максим Андреевич
Тулинов
maxtulinov@mail.ru

М.А. Тулинов^{1,2}, Е.А. Соколов^{1,2}, Е.И. Велиев^{1,2}, Д.Ю. Пушкарь^{1,3}, О.В. Паклина⁴,
Г.В. Кнышинский¹, Л.В. Решетов¹

¹ГБУЗ «Московский многопрофильный научно-клинический центр им. С.П. Боткина Департамента здравоохранения г. Москвы»; Россия, 125284 Москва, 2-й Боткинский проезд, 5

²Кафедра урологии и хирургической андрологии ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; Россия, 125993 Москва, ул. Баррикадная, 2/1, стр. 1

³Кафедра урологии ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России; Россия, 127473 Москва, ул. Делегатская, 20, стр. 1

⁴ГБУЗ «Московский клинический научный центр им. А.С. Логинова Департамента здравоохранения г. Москвы»; Россия, 111123 Москва, ул. Новогиреевская, 1, корп. 1

Введение. Решение вопроса о применении нервосберегающей техники при робот-ассистированной радикальной простатэктомии (РАРПЭ) предполагает поиск компромисса между обеспечением онкологической безопасности и сохранением эректильной функции, влияющей на качество жизни пациентов. Одним из способов снижения онкологических рисков при нервосберегающей технике является интраоперационное проведение гистологического исследования тех зон предстательной железы, которые прилегают к сосудисто-нервному пучку.

Цель исследования – оценить эффективность методики срочного интраоперационного гистологического исследования прилежащих к сосудисто-нервному пучку участков предстательной железы (протокола ЦИКЛОП) при выполнении нервосберегающей РАРПЭ.

Материалы и методы. С марта 2019 г. по октябрь 2025 г. в ГБУЗ «Московский многопрофильный научно-клинический центр им. С.П. Боткина Департамента здравоохранения г. Москвы» нервосберегающая РАРПЭ с использованием срочного гистологического исследования края латеральной области предстательной железы простаты выполнена 58 пациентам. Все оперативные вмешательства были проведены с применением роботических систем da Vinci моделей Si и Xi через трансперитонеальный доступ двумя хирургами. Срочные и окончательные гистологические исследования всех препаратов проводились в патолого-анатомическом отделении центра. Наличие опухолевой ткани в окрашенном крае резекции квалифицировалось как положительный статус хирургического края.

Результаты. Среднее время выполнения протокола ЦИКЛОП составило 35 мин. Средняя общая длительность операции составила 190 мин. Одностороннее и двустороннее сохранение сосудисто-нервного пучка выполнено в 22,4 и 77,6 % случаев соответственно. Большая часть пациентов представлена группой промежуточного и высокого риска развития рецидива. Экстрапростатическое распространение опухоли по данным окончательного гистологического исследования выявлено у 22,4 % пациентов. При использовании протокола ЦИКЛОП опухолевая ткань в крае резекции обнаружена в 23 % случаев. Плановое гистологическое исследование вторично иссеченных сосудисто-нервных пучков подтвердило наличие опухолевого процесса в 10 из 11 случаев (90,9 %). В 1 случае наличие онкологического процесса в повторно иссеченной ткани не подтвердилось. Положительный статус хирургического края при плановом гистологическом исследовании всего макропрепарата (предстательная железа, семенные пузырьки, отдельные участки дистальной уретры/шейки мочевого пузыря) выявлен в 9 (15,5 %) из 58 случаев. Важно отметить, что во всех случаях он обнаружен вне области предшествующего срочного гистологического исследования.

Заключение. Использование методики срочного гистологического исследования (протокола ЦИКЛОП) при нервосберегающей РАРПЭ дает возможность интраоперационно оценить статус края резекции, что позволяет при необходимости вторично иссечь сосудисто-нервные пучки с опухолевой тканью, снижая риск раннего биохимического рецидива. Методика может расширить показания к выполнению нервосберегающей РАРПЭ, особенно у пациентов группы промежуточного или высокого риска.

Ключевые слова: рак предстательной железы, робот-ассистированная радикальная простатэктомия, край резекции, интраоперационное гистологическое исследование, нервосберегающая техника, ЦИКЛОП

Для цитирования: Тулинов М.А., Соколов Е.А., Велиев Е.И. и др. Радикальная робот-ассистированная простатэктомия с интраоперационной оценкой состояния хирургического края (по протоколу ЦИКЛОП). Медицинская робототехника 2025;1(Спецвыпуск):17–24.

DOI: <https://doi.org/10.63769/3033-6392-2025-1-1-17-24>

Robot-assisted radical prostatectomy with intraoperative assessment of surgical margin (per the CELPM protocol)

M.A. Tulinov^{1,2}, E.A. Sokolov^{1,2}, E.I. Veliev^{1,2}, D.Yu. Pushkar^{1,3}, O.V. Paklina⁴, G.V. Knyshinskiy¹, L.V. Reshetov¹

¹S.P. Botkin Moscow Multidisciplinary Scientific and Clinical Center, Moscow Healthcare Department; 5 2nd Botkinsky Proezd, Moscow 125284, Russia;

²Department of Urology and Surgical Andrology, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Ministry of Health of Russia; 2/1–1 Barrikadnaya St., Moscow 125993, Russia

³Department of Urology, Russian University of Medicine, Ministry of Health of Russia; 20–1 Delegatskaya St., Moscow 127473, Russia

⁴A.S. Loginov Moscow Clinical Research Center of the Moscow Healthcare Department; 1–1 Novogireevskaya St., Moscow 111123, Russia

Contacts: Maksim Andreevich Tulinov maxtulinov@mail.ru

Background. Decision on using nerve-sparing technique during robot-assisted radical prostatectomy (RARP) involves a compromise between oncological safety and preservation of erectile function affecting patients' quality of life. One of the approaches to decreasing oncological risks of nerve-sparing technique is intraoperative histological examination of prostate regions adjacent to neurovascular bundle.

Aim. To evaluate the efficacy of express intraoperative histological examination of prostate regions adjacent to neurovascular bundle (CELPM protocol) during nerve-sparing RARP.

Materials and methods. Between March 2019 and October 2025 at the S.P. Botkin Moscow Multidisciplinary Scientific and Clinical Center of the Moscow Healthcare Department, nerve-sparing RARP with express histological examination of the lateral prostate margin was performed in 58 patients. All surgical interventions were performed using Si and Xi da Vinci models through transperitoneal access by two surgeons. Express and final histological examinations of all samples were performed at the Division of Pathological Anatomy of the Center. Presence of tumor tissue in the stained resection margin was considered a positive result of the examination.

Results. Mean time to CELPM was 35 min. Mean operative time was 190 min. Unilateral and bilateral preservation of the neurovascular bundle was performed in 22.4 and 77.6 % of cases, respectively. Risk of recurrence was intermediate in 17.2 % of cases and high in 72.4 % of cases. Extraprostatic tumor extension per the final histological examination was observed in 22.4 % of patients. The CELPM protocol showed tumor tissue in the resection margin in 23 % of cases. Planned histological examination of secondarily resected neurovascular bundles confirmed tumor process in 10 of 11 cases (90.9 %). In 1 case, oncological process in secondarily resected tissue was not confirmed. Tumor tissue in the resection margin during planned histological examination of the gross specimen (prostate, seminal vesicles, parts of the distal urethra/bladder neck) was found in 9 (15.5 %) of 58 cases. It is important to note that in all cases it was found outside the scope of previous express histological examination.

Conclusion. The use of express histological examination technique (CELPM protocol) during nerve-sparing RARP allows to intraoperatively evaluate the status of resection margin which allows to resect the neurovascular bundles with tumor tissue during a single surgery decreasing the risk of early biochemical recurrence. This technique might extend the indications for nerve-sparing RARP, especially in patients with intermediate and high risk.

Keywords: prostate cancer, robot-assisted radical prostatectomy, resection margin, intraoperative histological examination, nerve-sparing technique, CELPM

For citation: Tulinov M.A., Sokolov E.A., Veliev E.I. et al. Robot-assisted radical prostatectomy with intraoperative assessment of surgical margin (per the CELPM protocol). *Meditsinskaya robototekhnika* = Journal of Medical Robotics 2025;1(Special issue):17–24. (In Russ.)

DOI: <https://doi.org/10.63769/3033-6392-2025-1-1-17-24>

ВВЕДЕНИЕ

Робот-ассистированная радикальная простатэктомия (РАРПЭ) на сегодняшний день является одним из основных хирургических методов лечения пациентов с клинически локализованным раком предстательной железы. Современная оценка эффективности хирургического лечения производится в рамках концепции «пентафекта», которая включает отсутствие биохимического рецидива, недержания мочи, эректильной дисфункции, послеоперационных осложнений и положительного статуса хирургического края (ХК) [1]. Несмотря на это, онкологическая радикальность операции остается основной целью и приоритетом.

Описанная Р.С. Walsh и Р.Ј. Donker нервосберегающая техника при радикальной простатэктомии положительно влияет на восстановление эректильной функции после операции [2], однако сохранение сосудисто-нервных пучков потенциально может увеличивать риск положительного статуса ХК и, соответственно, биохимического рецидива рака предстательной железы [3]. Для достижения компромисса между обеспечением онкологической безопасности и сохранением эректильной функции Т. Schlomm и соавт. разработали методику срочного гистологического исследования прилегающих к сосудисто-нервному пучку зон предстательной железы NeuroSAFE [4], ставшую одним из вариантов снижения онкологических рисков при нервосберегающей технике, а также потенциально способную расширить показания к применению данной техники.

В клинической практике нами используется протокол ЦИКЛОП (*cito* (cito) исследование края латеральной области простаты) [5]. Поводом для его внедрения послужило исследование Т. Schlomm и соавт. и последующая адаптация их методики для робот-ассистированной хирургии этой же группой авторов [6].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С марта 2019 г. по октябрь 2025 г. в ГБУЗ «Московский многопрофильный научно-клинический центр им. С.П. Боткина Департамента здравоохранения г. Москвы» нервосберегающая РАРПЭ с использованием срочного интраоперационного гистологического исследования предстательной железы (протокола ЦИКЛОП) выполнена 58 пациентам по поводу рака предстательной железы. Все оперативные вмешательства были проведены с применением роботизированных систем da Vinci Si и Xi (компания Intuitive Surgical®) через трансперитонеальный доступ двумя хирургами. Срочные и окончательные гистологические исследования всех удаленных препаратов осуществлялись в патолого-анатомическом отделении центра. Наличие опухолевой ткани в окрашенном крае резекции определялось как положительный статус ХК.

Техника интраоперационного гистологического исследования замороженных срезов участков предстательной железы, прилегающих к сосудисто-нервному пучку, по протоколу ЦИКЛОП заключалась в следующем. Удаленную предстательную железу с семенными пузырьками помещают в эндоскопический контейнер и извлекают через расширенный супраумбиликальный доступ (порт камеры). Макропрепарат маркируют цветными красителями (рис. 1, а) и направляют в патолого-анатомическое отделение. В зависимости от клинической ситуации протокол ЦИКЛОП применяют с одной или с двух сторон. Иссекают образец ткани по заднебоковой поверхности простаты, прилегающей к сосудисто-нервному пучку (рис. 1, б). Далее образец замораживают при температуре -27°C (рис. 1, в), после чего готовятся срезы наружной поверхности толщиной 7–9 мкм, которые затем фиксируются на предметном стекле, окрашиваются гематоксилином и эозином (рис. 1, г) и исследуются патоморфологом.

В это же время в операционной возобновляют подключение камеры, восстанавливают карбоксиперитонеум, и операция продолжается: осуществляется гемостаз, формируется везикоуретральный анастомоз и, при наличии показаний, выполняется тазовая лимфаденэктомия. Таким образом, практически исключается увеличение длительности оперативного вмешательства.

После получения информации об отрицательном статусе ХК операцию завершают, а при наличии положительного статуса ХК выполняют резекцию сохраненного сосудисто-нервного пучка (рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Предоперационные характеристики пациентов: средний возраст, исходный уровень простатического специфического антигена, объем предстательной железы и индекс массы тела — представлены в таблице 1.

Большая часть пациентов представлена группой промежуточного (17,2 %) и высокого (72,4 %) риска развития рецидива. Среднее время выполнения протокола ЦИКЛОП от момента извлечения макропрепарата до получения ответа о статусе ХК составило 35 мин. Средняя общая длительность операции составила 190 мин. Одностороннее и двустороннее сохранение сосудисто-нервного пучка выполнено в 22,4 и 77,6 % случаев соответственно. Экстрапростатическое распространение выявлено по данным окончательного гистологического исследования у 22,4 % пациентов (стадия повышена до pT3).

В 11 (23 %) из 58 случаев при использовании протокола ЦИКЛОП во время нервосберегающей РАРПЭ был выявлен положительный статус ХК. Плановое гистологическое исследование вторично иссеченных сосудисто-нервных пучков подтвердило наличие опухолевого процесса в 10 (90,9 %) из 11 случаев. В 1 случае

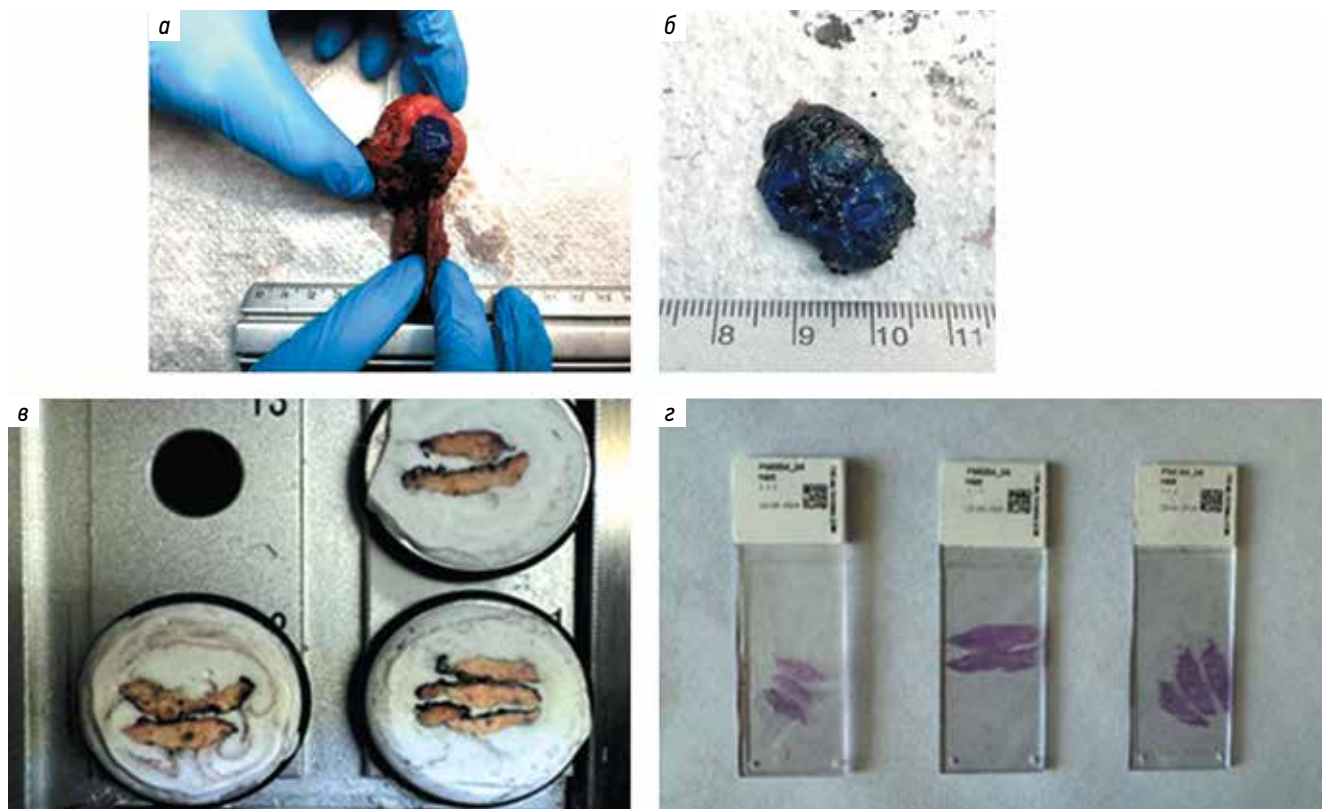


Рис. 1 | Fig. 1

Подготовка к интраоперационному гистологическому исследованию замороженных срезов участков предстательной железы, прилегающих к сосудисто-нервному пучку, по протоколу ЦИКЛОП: а – окрашивание латеральной поверхности каждой доли железы; б – срез интересующей области латеральной поверхности железы; в – криотомия фрагментов; г – полученные микропрепараты после окраски гематоксилином и эозином

Preparation for intraoperative histological examination of frozen sections of the prostate neighboring the neurovascular bundle per the CELPM protocol: а – staining of the lateral surface of each prostate lobe; б – section of the area of interest of the lateral surface of the prostate; в – fragment cryotomy; г – microslides after hematoxylin and eosin staining

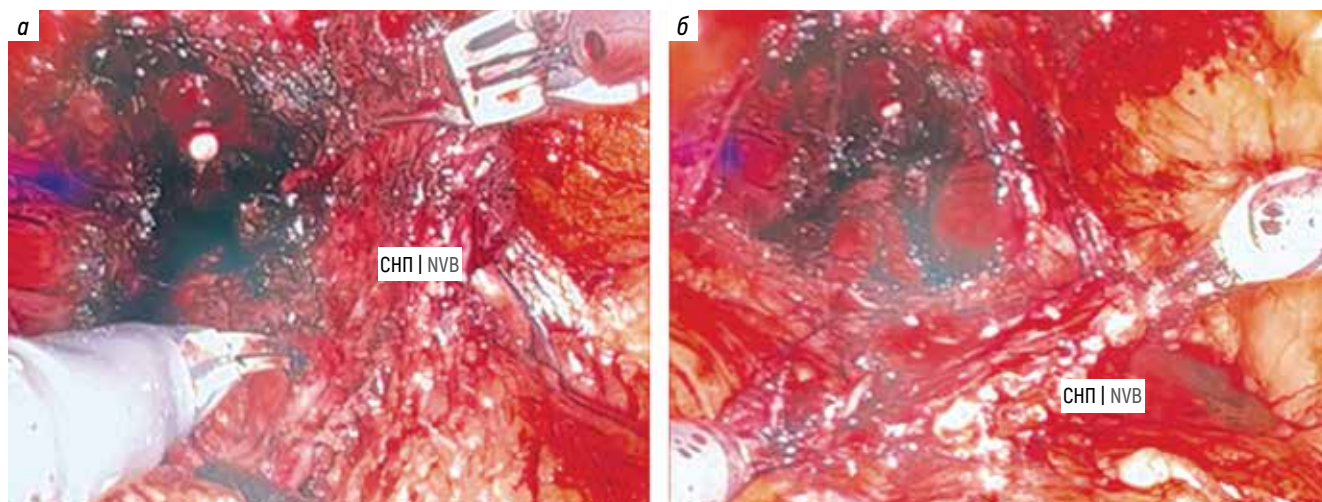


Рис. 2 | Fig. 2

Этап робот-ассистированной радикальной простатэктомии при положительном статусе хирургического края, выявленном при интраоперационном гистологическом исследовании по протоколу ЦИКЛОП: а – резекция сохраненного сосудисто-нервного пучка (СНП); б – иссеченный макропрепарат

Stage of robot-assisted radical prostatectomy for positive surgical margin identified during intraoperative histological examination per the CELPM protocol: а – resection of the spared neurovascular bundle (NVB); б – resected gross specimen

Таблица 1 | Table 1

Характеристика пациентов, перенесших нервосберегающую робот-ассистированную радикальную простатэктомию
 Characteristics of the patients who underwent nerve-sparing robot-assisted radical prostatectomy

Показатель Characteristic	Значение Value
Возраст на момент операции, М (min–max), лет Age at the time of surgery, M (min–max), years	60 (50–75)
Уровень простатического специфического антигена перед операцией, М (min–max), нг/мл Prostate-specific antigen level prior to surgery, M (min–max), ng/mL	7,32 (2,3–17,0)
Объем простаты, М (min–max), см ³ Prostate volume, M (min–max), cm ³	44,84 (22–80)
Индекс массы тела, М (min–max), кг/м ² Body mass index, M (min–max), kg/m ²	27,9 (21,6–35,4)
Международный индекс эректильной функции, М (min–max), баллы International Index of Erectile Function, M (min–max), score	22,4 (16–25)
Число пациентов с предоперационным риском развития рецидива (оценка по рекомендациям Европейской ассоциации урологов), абс. (%): Number of patients with preoperative risk of recurrence (score per the guidelines of the European Association of Urology), abs. (%):	
низким low	6 (10,4)
промежуточным intermediate	10 (17,2)
высоким high	42 (72,4)
Число пациентов с клинической стадией, абс. (%): Number of patients with clinical stage, abs. (%):	
T1c	6 (10,4)
T2b–c	52 (89,6)
Число пациентов с индексом Глисона (по данным предоперационной биопсии), абс. (%): Number of patients with Gleason score (per preoperative biopsy data), abs. (%):	
3 + 3	8 (13,8)
3 + 4	37 (63,8)
4 + 3	12 (20,7)
4 + 4	1 (1,7)
Длительность операции, М (min–max), мин Operative time, M (min–max), min	190 (120–240)
Число пациентов, у которых применена нервосберегающая техника, абс. (%): Number of patients for whom nerve-sparing technique was used, abs. (%):	
односторонняя unilateral	13 (22,4)
двусторонняя bilateral	45 (77,6)
Число пациентов с патолого-анатомической стадией, абс. (%): Number of patients with pathological stage, abs. (%):	
≤T2	45 (77,6)
T3a–b	13 (22,4)

признаков онкологического процесса в повторно иссеченной ткани не обнаружено (табл. 2).

Положительный статус ХК при плановом гистологическом исследовании всего макропрепарата (предстательная железа, семенные пузырьки, отдельные участки дистальной уретры/шейки мочевого пузыря) выявлен в 9 (15,5 %) из 58 случаев. Важно отметить, что во всех случаях положительный статус ХК выявлен вне области срочного гистологического исследования (рис. 3). При окончательном гистологическом исследовании число пациентов с патолого-анатомической стадией T2 составило 45 (77,6 %), положительный статус ХК выявлен у 4 (8,9 %) из них; число пациентов с патолого-анатомической стадией T3 составило 13 (22,4 %), а положительный статус ХК зарегистрирован у 5 (38,4 %) из них (табл. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ

Накопленный клинический опыт в сочетании с технологическим прогрессом и современными представлениями об анатомии сосудисто-нервных пучков способствует улучшению функциональных исходов нервосберегающих операций, повышению их онкологической безопасности и позволяет применять индивидуальный подход при отборе пациентов и определении объема сохраняемых структур [7]. Однако положительный статус ХК, выявляемый после РАРПЭ, остается существенным предиктором биохимического рецидива, в особенности при использовании нервосберегающих методик [8]. Положительный статус ХК нередко носит ятрогенный характер, связанный с особенностями техники или ограничениями предоперационной визуализации, что подчеркивает актуальность внедрения эффективных способов интраоперационной идентификации сосудисто-нервных пучков [9], а также интраоперационного мониторинга статуса краев резекции.

На сегодняшний день разрабатывается и изучается множество методов, способных расширить показания к применению нервосберегающих техник без увеличения рисков положительного статуса ХК. К ним можно отнести оптическую когерентную томографию, оптическую спектроскопию, дополненную 3D-реальность [10, 11]. В научной литературе сообщается о ряде перспективных технологий, таких как конфокальная микроскопия *ex vivo* и позитронно-эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной томографией, для исследования операционного материала. Эти методы позволяют проводить полный анализ всей предстательной железы за более короткое время. Однако их реальное влияние на функциональные исходы, а также на онкологическую безопасность еще предстоит оценить [12].

В настоящее время в значительном количестве научных публикаций показано, что срочное гистологическое

Таблица 2 | Table 2

Результаты срочного и планового гистологического исследования при проведении робот-ассистированной радикальной простатэктомии по протоколу ЦИКЛОП ($n = 58$)

Results of express and planned histological examination during robot-assisted radical prostatectomy per the CELPM protocol ($n = 58$)

Исследование Examination	Показатель Characteristic	Число случаев, абс. (%) Number of cases, abs. (%)
Срочное Express	Положительный статус хирургического края Positive resection margin	11 (23,0)
Плановое Planned	Наличие опухолевого процесса во вторично иссеченных тканях Presence of tumor process in secondarily resected tissues	10 (90,9)
	Положительный статус хирургического края при плановом гистологическом исследовании всего макропрепарата* Positive status of surgical margin during planned histological examination of the whole gross specimen*	9 (15,5)
	Положительный статус хирургического края при плановом гистологическом исследовании в зависимости от патолого-анатомической стадии: Positive status of surgical margin during planned histological examination depending on pathological stage: T2 T3	4 (8,9) 5 (38,4)

*Вне зоны предшествующего срочного гистологического исследования.

*Outside the area of previous express histological examination.

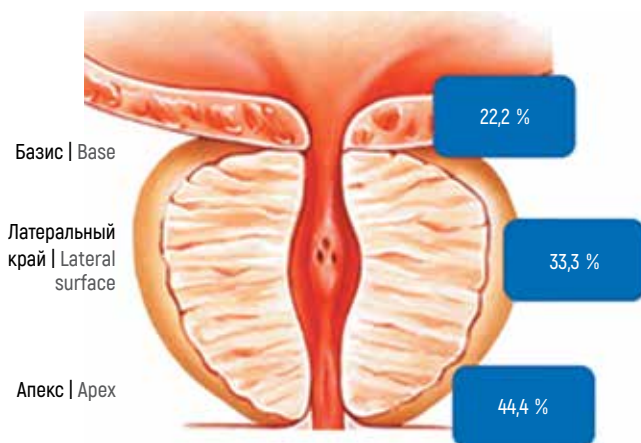


Рис. 3 | Fig. 3

Локализация хирургических краев с положительным статусом по данным планового гистологического исследования
Location of surgical margins with positive status per planned histological examination

исследование участков простаты, прилегающих к сосудисто-нервному пучку, эффективно снижает частоту позитивного статуса ХК при нервосберегающей радикальной простатэктомии [13–15], а также улучшает функциональные результаты [16]. Взятый нами за основу протокол NeuroSAFE и его адаптация для роботической хирургии позволили расширить показания к применению нервосберегающей техники. Авторы протокола представили данные о 11 069 случаях открытых и робот-ассистированных простатэктомий,

выполненных по протоколу NeuroSAFE. Они сообщили об увеличении общего количества простатэктомий с нервосберегающей техникой с 81 до 97 %. Частота положительного статуса ХК снизилась с 22 до 15 % для всех клинических стадий [6]. В работах E. Dinneen и соавт. сообщается, что метод срочного гистологического исследования замороженных срезов имел чувствительность 100 %, специфичность 92,7 %, прогностическую ценность положительного результата 75 %, отрицательного результата – 100 % [17].

Несмотря на это, в ряде работ демонстрируется отсутствие влияния методики на частоту развития биохимического рецидива. F. Ambrosini и соавт. сообщают об анализе своего 20-летнего опыта применения методики NeuroSAFE. При медиане наблюдения 121 мес не было зарегистрировано различий в частоте развития биохимического рецидива через 10 лет наблюдения между группами пациентов, перенесших нервосберегающую радикальную простатэктомию с применением протокола NeuroSAFE и без его применения. Так, при стадии pT2 частота составила 81 и 84 % ($p = 0,06$); pT3a – 58 и 63 % ($p = 0,6$); pT3b и выше – 22 и 27 % ($p = 0,99$). Однако стоит отметить, что пациенты первой группы сообщали о лучшем состоянии эректильной функции через 1 год в сравнении с аналогичным показателем пациентов, которым проведена стандартная нервосберегающая радикальная простатэктомия (68 % против 58 %, $p = 0,02$) [18].

В нашей работе положительный статус ХК при срочном интраоперационном гистологическом

исследовании выявлен у 11 (23 %). Повторное исследование сосудисто-нервных пучков и плановое гистологическое исследование у данной группы пациентов выявило наличие опухолевой ткани в 90,9 % случаев. Относительно высокий процент (15,5 %) положительного статуса ХК при окончательном гистологическом исследовании обусловлен обнаружением опухолевой ткани вне зоны исследования по протоколу ЦИКЛОП. Высокая частота экстрапростатического распространения по данным планового гистологического исследования (22,4 %) указывает на целесообразность использования интраоперационного гистологического исследования в группе пациентов промежуточного и высокого риска развития рецидива.

В будущем планируется проведение сравнительного анализа функциональных и онкологических результатов групп пациентов, перенесших нервосберега-

ющую РАРПЭ с применением и без применения срочного интраоперационного гистологического исследования. Мы надеемся, что дальнейшие исследования протокола ЦИКЛОП позволят расширить показания к использованию нервосберегающей техники, а также улучшить безрецидивную выживаемость и результаты восстановления эректильной функции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование срочного гистологического исследования по протоколу ЦИКЛОП при нервосберегающей РАРПЭ позволяет интраоперационно оценить статус ХК, что делает возможным вторичное иссечение сосудисто-нервных пучков при необходимости, снижая риски раннего биохимического рецидива. Предложенный метод позволяет расширить показания к нервосберегающей РАРПЭ, особенно у пациентов группы промежуточного и высокого риска.

Литература | References

1. Afferi L., Moschini M., Baumeister P. et al. Trends in risk-group distribution and Pentafecta outcomes in patients treated with nerve-sparing, robot-assisted radical prostatectomy: a 10-year low-intermediate volume single-center experience. *World J Urol* 2021;39(2):389–7. DOI: 10.1007/s00345-020-03206-y
2. Walsh P.C., Donker P.J. Impotence following radical prostatectomy: insight into etiology and prevention. *J Urol* 1982;128(3):492–7. DOI: 10.1016/s0022-5347(17)53012-8
3. Nguyen L.N., Head L., Witiuk K. et al. The risks and benefits of cavernous neurovascular bundle sparing during radical prostatectomy: a systematic review and meta-analysis. *J Urol* 2017;198(4):760–9. DOI: 10.1016/j.juro.2017.02.3344
4. Schlomm T., Tennstedt P., Huxhold C. et al. Neurovascular structure-adjacent frozen-section examination (NeuroSAFE) increases nerve-sparing frequency and reduces positive surgical margins in open and robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy: experience after 11,069 consecutive patients. *Eur Urol* 2012;62(2):333–40. DOI: 10.1016/j.eururo.2012.04.057
5. Соколов Е.А., Велиев Е.И., Паклина О.В., Кнышинский Г.В. Интраоперационное гистологическое исследование замороженных срезов участков предстательной железы, прилегающих к сосудисто-нервному пучку: первый опыт применения при робот-ассистированной радикальной простатэктомии. *Вестник современной клинической медицины* 2019;12(6): 66–71. DOI: 10.20969/VSKM.2019.12(6).66-71
6. Sokolov E.A., Veliev E.I., Paklina O.V., Knyshinsky G.V. Intraoperative histological frozen-section examination of prostate regions adjacent to neurovascular bundle: initial implementation experience during robot-assisted radical prostatectomy. *Vestnik sovremennoy klinicheskoy meditsiny = The Bulletin of Contemporary Clinical Medicine* 2019;12(6):66–71. DOI: 10.20969/VSKM.2019.12(6).66-71
7. Beyer B., Schlomm T., Tennstedt P. et al. A feasible and time-efficient adaptation of NeuroSAFE for da Vinci robot-assisted radical prostatectomy. *Eur Urol* 2014;66(1):138–44. DOI: 10.1016/j.eururo.2013.12.014
8. Соколов Е.А., Велиев Е.И., Велиев Р.А. Современный взгляд на нервосберегающую технику радикальной простатэктомии. *Онкоурология* 2019;15(3):17–27. DOI: 10.17650/1726-9776-2019-15-3-17-27
9. Sokolov E.A., Veliev E.I., Veliev R.A. Current view on nerve-sparing radical prostatectomy. *Onkourologiya = Cancer Urology* 2019;15(3):17–27. (In Russ.) DOI: 10.17650/1726-9776-2019-15-3-17-27
10. Keller E.X., Bachofner J., Britschgi A.J. et al. Prognostic value of unifocal and multifocal positive surgical margins in a large series of robot-assisted radical prostatectomy for prostate cancer. *World J Urol* 2019;37(9):1837–44. DOI: 10.1007/s00345-018-2578-y
11. Пушкарь Д.Ю., Колонтарев К.Б. Робот-ассистированная радикальная простатэктомия – функциональный результат. Часть II. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова 2019;(4):80–6. DOI: 10.17116/hirurgia201904180
12. Pushkar D.Yu., Kolontarev K.B. Robot-assisted radical prostatectomy – functional result. Part II. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova = Pirogov Russian Journal of Surgery* 2019;(4):80–6. (In Russ.). DOI: 10.17116/hirurgia201904180
13. Dangle P.P., Shah K.K., Kaffenberger B., Patel V.R. The use of high resolution optical coherence tomography to evaluate robotic radical prostatectomy specimens. *Int Braz J Urol* 2009;35(3):344–53. DOI: 10.1590/s1677-55382009000300011
14. Porpiglia F., Checcucci E., Amparore D. et al. Three-dimensional elastic augmented-reality robot-assisted radical prostatectomy using hyperaccuracy three-dimensional reconstruction technology: a step further in the identification of capsular involvement. *Eur Urol* 2019;76(4):505–14. DOI: 10.1016/j.eururo.2019.03.037
15. Windisch O., Diana M., Tilki D. et al. Intraoperative technologies to assess margin status during radical prostatectomy – a narrative review. *Prostate Cancer Prostatic Dis* 2025;28(1):81–8. DOI: 10.1038/s41391-024-00868-2
16. Van der Slot M.A., den Bakker M.A., Tan T.S.C. et al. NeuroSAFE in radical prostatectomy increases the rate of nerve-sparing surgery without affecting oncological outcome. *BJU Int* 2022;130(5): 628–36. DOI: 10.1111/bju.15771
17. Kroon L.J., Remmers S., Busstra M.B. et al. Centralized prostatectomy with intraoperative NeuroSAFE margin assessment

- improves surgical margin control. *Histopathology* 2024;85(5):760–8. DOI: 10.1111/his.15291
15. Noël J., Spencer N.H., Lodia S. et al. Neurovascular structure-adjacent frozen-section examination robotic-assisted radical prostatectomy: outcomes from 500 consecutive cases in the UK. *J Robot Surg* 2022;16(4):951–6. DOI: 10.1007/s11701-021-01324-2. Erratum in: *J Robot Surg* 2022;16(4):957. DOI: 10.1007/s11701-021-01337-x
 16. Dinneen E., Almeida-Magana R., Al-Hammouri T. et al. Effect of NeuroSAFE-guided RARP versus standard RARP on erectile function and urinary continence in patients with localised prostate cancer (NeuroSAFE PROOF): a multicentre, patient-blinded, randomised, controlled phase 3 trial. *Lancet Oncol* 2025;26(4):447–58. DOI: 10.1016/S1470-2045(25)00091-9
 17. Dinneen E., Haider A., Freeman A. et al. NeuroSAFE PROOF Randomised Controlled Feasibility Study: brief report of perioperative outcomes, histological concordance, and feasibility. *Eur Urol* 2020;78(3):476–8. DOI: 10.1016/j.eururo.2020.03.052
 18. Ambrosini F., Preisser F., Tilki D. et al. Nerve-sparing radical prostatectomy using the neurovascular structure-adjacent frozen-section examination (NeuroSAFE): results after 20 years of experience. *Prostate Cancer Prostatic Dis* 2025;28(2):483–9. DOI: 10.1038/s41391-024-00851-x

Вклад авторов | Authors' contributions

М.А. Тулинов: поиск научной литературы, обработка и анализ данных, написание текста статьи, ассистирование при выполнении хирургических вмешательств;
 Е.А. Соколов: разработка идеи и дизайна исследования, разработка исследуемой методики (авторство), редактирование текста статьи, ассистирование при выполнении хирургических вмешательств;
 Е.И. Велиев: проведение хирургических вмешательств, разработка идеи и дизайна исследования, разработка исследуемой методики (авторство), редактирование текста статьи;
 Д.Ю. Пушкар: проведение хирургических вмешательств;
 О.В. Паклина: проведение гистологических исследований, написание раздела «Материалы и методы»;
 Г.В. Кнышинский: проведение гистологических исследований, написание раздела «Материалы и методы»;
 Л.В. Решетов: проведение гистологических исследований, написание раздела «Материалы и методы».
 M.A. Tulinov: literature search, data processing and analysis, manuscript writing, assisting during surgical interventions;
 E.A. Sokolov: study idea and design, development of the studied technique (authorship), manuscript editing, assisting during surgical interventions;
 E.I. Veliev: performing surgical interventions, study idea and design, development of the studied technique (authorship), manuscript editing;
 D.Yu. Pushkar: performing surgical interventions;
 O.V. Paklina: histological examinations, writing of the Materials and Methods section;
 G.V. Knyshinskiy: histological examinations, writing of the Materials and Methods section;
 L.V. Reshetov: histological examinations, writing of the Materials and Methods section.

ORCID авторов | ORCID of authors

М.А. Тулинов / M.A. Tulinov: <https://orcid.org/0009-0006-6991-6617>
 Е.А. Соколов / E.A. Sokolov: <https://orcid.org/0000-0002-8887-5789>
 Е.И. Велиев / E.I. Veliev: <https://orcid.org/0000-0002-1249-7224>
 Д.Ю. Пушкар / D.Yu. Pushkar: <https://orcid.org/0000-0002-6096-5723>
 О.В. Паклина / O.V. Paklina: <https://orcid.org/0000-0001-6373-1888>

Конфликт интересов | Conflict of interest

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
 The authors declare no conflict of interest.

Финансирование | Funding

Работа выполнена без спонсорской поддержки.
 The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов | Compliance with patient rights

Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.
 All patients gave written informed consent to participate in this study.

Статья поступила: | Article submitted: 15.10.2025.
 Принята к публикации: | Accepted for publication: 25.10.2025.
 Рецензия: | Peer reviewed: 05.11.2025.
 Опубликовано онлайн: | Published online: 20.02.2026.

Робот-ассистированная радикальная цистэктомия: техника и результаты

Контакты:

Александр Григорьевич
Иванов
alexboorn@gmail.com

М.Б. Зингеренко¹, Д.А. Лахно¹, А.Г. Иванов¹, И.О. Аванесян²

¹ГБУЗ «Московский клинический научный центр им. А.С. Логинова Департамента здравоохранения г. Москвы»; Россия, 111123 Москва, ул. Новогиреевская, 1, корп. 1

²ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России; Россия, 127006 Москва, ул. Долгоруковская, 4

Введение. Робот-ассистированная радикальная цистэктомия (РАРЦ) активно внедряется в клиническую практику как альтернатива открытой операции при мышечно-инвазивном раке мочевого пузыря. Остается открытым вопрос выбора оптимального метода деривации мочи.

Цель исследования – сравнить периоперационные результаты, частоту осложнений и показатели качества жизни после РАРЦ с использованием разных методов деривации мочи – формирования илеокондуита по Бриккеру и ортотопического неоцистиса по Штудеру.

Материалы и методы. Выполнен ретроспективный анализ данных 93 пациентов с мышечно-инвазивным раком мочевого пузыря, которым в период с 2014 по 2024 г. в ГБУЗ «Московский клинический научный центр им. А.С. Логинова Департамента здравоохранения г. Москвы» выполнена РАРЦ с формированием илеокондуита по Бриккеру ($n = 74$) или ортотопического неоцистиса по Штудеру ($n = 19$). Оценивались длительность операции, объем кровопотери, сроки госпитализации, частота осложнений по классификации Clavien–Dindo и качество жизни по EORTC QLQ-BLM30 через 6 и 12 мес.

Результаты. Средняя продолжительность операции была больше при использовании метода Штудера ($462,28 \pm 75,66$ мин), чем при применении метода Бриккера ($361,96 \pm 46,84$ мин, $p < 0,05$). Объем интраоперационной кровопотери также был больше при ортотопической реконструкции ($292,22 \pm 76,22$ мл против $216,64 \pm 104,62$ мл, $p = 0,001$). Частота периоперационных осложнений I–IV степени по классификации Clavien–Dindo была сопоставимой ($p > 0,05$). Через 6 мес показатели физического, эмоционального и социального функционирования были статистически значимо выше у пациентов с ортотопическим неоцистисом, однако через 12 мес значения обеих групп не различались ($p > 0,05$).

Заключение. РАРЦ с деривацией мочи по методу Штудера характеризуется большей длительностью операции и большим объемом кровопотери по сравнению с методом Бриккера при сопоставимой частоте осложнений. Ортотопическая реконструкция обеспечивает более высокое качество жизни в раннем послеоперационном периоде, однако через 12 мес после РАРЦ различия нивелируются.

Ключевые слова: робот-ассистированная радикальная цистэктомия, РАРЦ, рак мочевого пузыря, деривация мочи, илеоконduit по Бриккеру, ортотопический неоцистис по Штудеру, периоперационные осложнения, качество жизни, минимально инвазивная хирургия

Для цитирования: Зингеренко М.Б., Лахно Д.А., Иванов А.Г., Аванесян И.О. Робот-ассистированная радикальная цистэктомия: техника и результаты. Медицинская робототехника 2025;1(Спецвыпуск):25–31.

DOI: <https://doi.org/10.63769/3033-6392-2025-1-1-25-31>

Robot-assisted radical cystectomy: Technique and results

M.B. Zingerenko¹, D.A. Lakhno¹, A.G. Ivanov¹, I.O. Avanesyan²

¹A.S. Loginov Moscow Clinical Research Center of the Moscow Healthcare Department; 1–1 Novogireevskaya St., Moscow 111123, Russia

²Russian University of Medicine, Ministry of Health of Russia; 4 Dolgorukovskaya St., Moscow 127006, Russia

Contacts: Aleksandr Grigoryevich Ivanov alexboorn@gmail.com

Introduction. Robot-assisted radical cystectomy (RARC) is increasingly adopted as a minimally invasive alternative to open surgery for muscle-invasive bladder cancer. The optimal urinary diversion technique remains a subject of debate.

The aim of the study is to compare perioperative outcomes, complication rates and quality of life after RARC with Bricker ileal conduit *versus* Studer orthotopic neobladder.

Materials and methods. A retrospective review of 93 patients who underwent RARC with Bricker ileal conduit ($n = 74$) or Studer orthotopic neobladder ($n = 19$) at the A.S. Loginov Moscow Clinical Research Center in 2018–2024 was performed. Operative time, blood loss, in-hospital days, Clavien–Dindo complications and EORTC QLQ-BLM30 quality of life scores 6 and 12 months after the surgery were assessed.

Results. Mean operative time for Studer orthotopic neobladder (462.28 ± 75.66 min) was longer than for Bricker ileal conduit (361.96 ± 46.84 min, $p < 0.05$). The volume of blood loss was also higher for orthotopic diversion (292.22 ± 76.22 mL *versus* 216.64 ± 104.62 mL, $p = 0.001$). Complication rates per the Clavien–Dindo classification were similar ($p > 0.05$). Physical, emotional and social well-being scores favored the Studer group 6 months after the intervention but equalized by 12 months ($p > 0.05$).

Conclusion. Studer neobladder is characterized by longer operative time and higher blood loss compared to Bricker technique with similar complication rate. Orthotopic diversion provides superior early postoperative quality of life, but the differences disappear after 12 months.

Keywords: robot-assisted radical cystectomy; RARC; bladder cancer; urinary diversion; Bricker ileal conduit; Studer neobladder; perioperative complications; quality of life; minimally invasive surgery

For citation: Zingerenko M.B., Lakhno D.A., Ivanov A.G., Avanesyan I.O. Robot-assisted radical cystectomy: Technique and results. Meditsinskaya robototekhnika = Journal of Medical Robotics 2025;1(Special issue):25–31. (In Russ.)

DOI: <https://doi.org/10.63769/3033-6392-2025-1-1-25-31>

ВВЕДЕНИЕ

Радикальная цистэктомия считается «золотым стандартом» в лечении неметастатического мышечно-инвазивного рака мочевого пузыря [1].

Это связано с тем, что переходо-клеточная карцинома в большинстве случаев резистентна к лучевой терапии, и только комплексные протоколы, такие как тримодальная терапия (объединяющая трансуретральную резекцию, химиотерапию с радиосенсибилизацией и радиотерапию), позволяют достичь уровня выживаемости без рецидивов, сравнимого с таковым после цистэктомии [2].

Объем стандартной операции предусматривает удаление мочевого пузыря единым блоком с околопузырной клетчаткой, у мужчин — с предстательной железой и семенными пузырьками, у женщин — с маткой, яичниками, маточными трубами и уретрой. Кроме того, неотъемлемой частью операции является расширенная тазовая лимфаденэктомия. Исторически радикальная цистэктомия выполнялась преимущественно посредством открытого хирургического доступа, однако прогресс в развитии медицинских технологий сделал доступной лапароскопическую технику, а в последнее десятилетие широкое распространение получила робот-ассистированная радикальная цистэктомия (РАРЦ), которая обеспечивает онкологические результаты, сопоставимые с таковыми при традиционных вмешательствах, при этом обладая преимуществами минимально инвазивного подхода [3]. Между тем вопрос об оптимальном методе деривации мочи после РАРЦ остается дискуссионным. У здорового человека мочевой пузырь со сфинктерным аппаратом осуществляет функцию накопления, удержания и своевременного изгнания мочи. Максимально полное замещение этих

функций — одна из основных задач хирурга, выполняющего радикальную цистэктомию. С формированием механизма деривации мочи связано большинство послеоперационных осложнений, и именно этот этап операции определяет дальнейшее качество жизни пациента.

В настоящий момент большинство выполняемых в мире цистэктомий, как открытых, так и роботических, завершаются формированием илеокондуита [4]. Предложенная американским хирургом Ю.М. Бриккером (Е.М. Bricker) в 1950 г. техника создания илеокондуита — наложение анастомоза между мочеточниками и изолированным сегментом тонкой кишки (15–20 см) в сочетании с формированием илеостомы, обеспечивающей отведение мочи в илеостомический мешок, — осталась практически неизменной на сегодняшний день [5]. Но считается, что наилучшее качество жизни пациентов обеспечивает формирование ортотопического искусственного мочевого пузыря. Широкое распространение получил способ, предложенный в 1989 г. У.Э. Штудером (U.E. Studer) [6].

Абсолютными противопоказаниями к формированию искусственного мочевого пузыря являются распространение опухоли на уретру дистальнее простатического отдела, хроническая болезнь почек (уровень креатинина > 180 мкмоль/л), выраженные когнитивные нарушения у пациента, деменция. Ограничивают проведение ортотопической реконструкции также несостоятельность наружного сфинктера (недержание мочи), болезнь Крона, стриктура уретры, морбидное ожирение, старческий возраст и анатомически короткая брыжейка тонкой кишки. Неприятным осложнением может стать недержание мочи, чаще ночью. Кроме того, необходимо учитывать, что формирование

ортотопического искусственного мочевого пузыря повышает сложность и длительность операции.

Цель нашего исследования — сравнить периоперационные результаты, частоту осложнений и показатели качества жизни после РАРЦ с использованием разных методов деривации мочи — формирования илеокондута по Бриккеру и ортотопического неоцистиса по Штудеру.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С января 2014 г. по январь 2024 г. в урологическом отделении ГБУЗ «Московский клинический научный центр им. А.С. Логинова Департамента здравоохранения г. Москвы» РАРЦ с применением методик деривации мочи выполнена у 93 пациентов. Все пациенты имели подтвержденный диагноз мышечно-инвазивного рака мочевого пузыря.

Отобранные пациенты были распределены по двум группам:

- в I группу вошли 74 пациента (53 мужчины и 21 женщина), у которых сформирован илеоконduit по Бриккеру,
- во II группу включены 19 пациентов, у которых сформирован ортотопический искусственный мочевой пузырь по Штудеру.

При выборе методики деривации мочи учитывались: стадия, локализация и распространенность онкопроцесса, возраст и ментальный статус пациента. Формирование ортотопического искусственного мочевого пузыря не выполнялось у женщин, а также у пациентов старше 70 лет.

Данные для исследования были получены из медицинских документов. Анализу подвергнуты периоперационные параметры: продолжительность хирургического вмешательства, объем кровопотери во время операции, количество дней госпитализации, а также частота осложнений, оцененных по классификации Clavien—Dindo. Качество жизни оценивали с помощью анкеты EORTC QLQ-BLM30, которую пациенты заполняли через 6 и 12 мес после операции.

Математическая и статистическая обработка данных выполнялась с помощью стандартных программных пакетов Microsoft Excel и Statistica 10. В процессе анализа результатов рассчитывали среднее арифметическое (M), стандартное отклонение от среднего (m), а также минимальные и максимальные значения. Для выявления статистически значимых различий между группами применялись методы параметрической статистики (t -критерий Стьюдента), непараметрической статистики (U -критерий Манна—Уитни в случае неравенства дисперсий сравниваемых выборок), а также точный критерий Фишера. Различия признавались статистически значимыми при $p \leq 0,05$, а в некоторых случаях при использовании непараметрических методов — при $p \leq 0,01$.

Подготовка к операции. На предоперационном этапе корректировали анемию и гипоальбуминемию. За несколько дней до хирургического вмешательства пациентам предписывали придерживаться бесшлаковой диеты. В настоящее время в научной литературе активно обсуждается целесообразность механической подготовки кишечника, и многие медицинские центры отказались от этой практики, поскольку препараты для такой подготовки вызывают обезвоживание и нарушения электролитного баланса [7]. Несколько рандомизированных контролируемых исследований в области колоректальной хирургии выявили повышенный риск осложнений, включая несостоятельность анастомоза, инфекции ран и формирование внутрибрюшных абсцессов, у пациентов, подвергшихся механической подготовке кишечника [8–10]. Для предоперационной подготовки больных мы использовали двукратную очистительную клизму с минимизацией голодного периода и без использования бесшлаковых диет. Осуществляли стандартную профилактику тромбоэмболических осложнений при операциях на органах малого таза, которая включает ношение компрессионного трикотажа и введение низкомолекулярных гепаринов накануне вмешательства. Во время операции проводили антибактериальную профилактику, обычно путем парентерального введения цефалоспоринов III поколения в дозе 2 г.

Пациента размещали на операционном столе в положении Тренделенбурга с наклоном в 30°. Особое значение имеет создание естественного положения тела, обеспечение мягкой, но прочной фиксации, а также предотвращение сдавливания нервных стволов на протяжении всей продолжительной операции. Хирургическое вмешательство осуществляли под комбинированной общей анестезией; обязательно устанавливали эпидуральный катетер для проведения длительного обезболивания в послеоперационном периоде. Выполняли катетеризацию центральной вены и/или артерии. Обеспечение анестезии при РАРЦ является сложной задачей для анестезиолога, учитывая длительное пребывание пациента в позиции Тренделенбурга, пневмоперитонеум, высокий риск тромбоэмболических осложнений и риск обширной кровопотери из магистральных сосудов.

Техника операции. В операции применяли 5 или 6 троакаров. Камеру размещали в 12-миллиметровом (или 8-миллиметровом на системе da Vinci модели Xi) троакаре, установленном на 4–5 см выше пупка. Троакар для первой «руки» робота позиционировали справа от пупка вдоль линии, соединяющей пупок с верхней передней подвздошной остью, на расстоянии, равном одной трети ости. Ассистентский 12-миллиметровый троакар располагали справа от пупка, немного выше параректальной линии. В некоторых случаях

требовался дополнительный ассистентский 5-миллиметровый троакар в правой подвздошной области. Слева от пупка, на расстоянии 10 и 20 см от него соответственно, устанавливали троакары для второй и третьей «рук» робота; при этом для третьей «руки» через 12-миллиметровый троакар вводили 8-миллиметровый роботический троакар, что необходимо для последующей интракорпоральной техники. После дедокинга «руки» робота через этот 12-миллиметровый троакар вводили аппарат Endo GIA™.

Операцию мы начинали с ее ключевого этапа — лимфаденэктомии. Поражение лимфатических узлов выявляется у 25 % пациентов после цистэктомии [11]. Границы стандартной лимфаденэктомии: латеральная — генитофemorальный нерв, медиальная — стенка мочевого пузыря, дистальная — узел Клоке, проксимальная — бифуркация общей подвздошной артерии, нижняя — запирающий нерв. Многие хирурги предпочитают расширять границы лимфодиссекции в краиниальном направлении до бифуркации аорты и даже до нижней брыжеечной артерии. Не достигнут консенсус и не существует рекомендаций относительно минимального количества удаляемых лимфатических узлов и верхних границ роботической лимфодиссекции.

Далее удаляли органнй комплекс. Для клипирования ветвей внутренней подвздошной артерии использовали клипсы Hem-o-lok (Weck Surgical Instruments, Teleflex Medical, Research Triangle Park, NC), а для рассечения паравезикальных тканей — устройство LigaSure™ (Valleylab, Boulder, CO, USA). Перед пересечением мочевого пузыря с помощью клипс Hem-o-lok, оснащенных фиксированными лигатурами, мочеточники клипировали и отсекали. Левый мочеточник перемещали вправо через отверстие в брыжейке сигмовидной кишки.

Удаленный органнй комплекс помещали в контейнер. У женщин возможно (если позволяет объем органного комплекса) удаление контейнера через культю влагалища. У мужчин контейнер извлекали в конце операции через 7-сантиметровый разрез передней брюшной стенки.

Деривация мочи. В процессе интракорпорального создания кондуита требуемые дистанции (длину выделяемого участка, расстояние от илеоцекального угла) определяли с использованием заранее подготовленных лигатур фиксированной длины. При создании ортотопического мочевого пузыря следует оценить длину брыжейки подвздошной кишки, а также возможность ее опускания в малый таз и соединения с уретрой; в некоторых случаях нужно выполнить несколько разрезов брыжейки, чтобы повысить ее подвижность. Уретру соединяли с петлей опущенной подвздошной кишки до момента выделения сегмента. Участок подвздошной кишки (15–20 см для илеокондуита и 50–55 см для

ортотопического мочевого пузыря) выделяли с помощью аппарата Endo GIA™ Universal Auto Suture (Covidien) и двух прямых голубых кассет по 60 мм. Аппарат при этом накладывали широко, захватывая брыжейку, без предварительного формирования окна в ней, что способствует большей мобильности выделенного сегмента. Для формирования анастомоза по типу «бок в бок» применялись кассеты 45 и 60 мм, при этом критически важно создать широкий анастомоз, обеспечивающий беспрепятственное восстановление прохождения кишечного содержимого в послеоперационном периоде; дополнительно использовали одну прямую кассету 60 мм для закрытия просвета кишки, а окно в брыжейке ушивали несколькими швами. Сшивание стенок кишки при создании искусственного мочевого пузыря выполняется с применением анкерной монофиламентной нити 4–0 V-Loc™ (Covidien). Использование сшивающего аппарата существенно упрощает и ускоряет этап выделения кишечной трубки (в нашей практике это занимало от 30 до 55 мин), но при этом заметно увеличивает затраты на расходные материалы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Средний возраст больных в группе ортотопического неоцистиса по Штудеру равнялся $58,26 \pm 6,44$ года, а в группе илеокондуита по Бриккеру — $67,84 \pm 7,43$ года. Средний показатель индекса массы тела составлял соответственно $25,74 \pm 4,56$ и $29,23 \pm 4,54$ кг/м².

Средняя продолжительность хирургического вмешательства в группе илеокондуита по Бриккеру равнялась $321,96 \pm 46,84$ мин, в то время как в группе ортотопического неоцистиса по Штудеру — $422,28 \pm 75,66$ мин; различия между группами оказались статистически значимыми ($p < 0,05$). Средний объем кровопотери во время операции в группе илеокондуита по Бриккеру составил $216,64 \pm 104,62$ мл, а в группе ортотопического неоцистиса по Штудеру — $292,22 \pm 76,22$ мл; различия между группами были статистически значимыми ($p = 0,001$).

Средняя длительность пребывания в стационаре после операции составила $13,74 \pm 3,61$ дня в группе илеокондуита по Бриккеру и $14,25 \pm 3,51$ дня в группе ортотопического неоцистиса по Штудеру; различия между группами были статистически незначимыми ($p = 0,1$).

Общее количество осложнений, а также осложнений I–II и III–IV степеней по классификации Clavien–Dindo изложены в таблице. Различия в частоте и тяжести осложнений между группами оказались статистически незначимыми ($p > 0,05$). В число осложнений I–II степени входили острый пиелонефрит и кишечная непроходимость, устраненные с помощью консервативной терапии. К осложнениям

Таблица 1 | Table 1

Частота осложнений робот-ассистированной радикальной цистэктомии при использовании различных методов деривации мочи ($n = 93$), абс. (%)
 Complication rates of robot-assisted radical cystectomy using different urinary diversion techniques ($n = 93$), abs. (%) *

Реконструкция Reconstruction	Общая Total	в том числе including	
		I—II степени grade I—II	III—IV степени grade III—IV
Гетеротопическая Heterotopic	27 (35,1)	20 (26,0)	7 (9,1)
Ортоотопическая Orthotopic	8 (42,1)	6 (31,6)	2 (10,5)

*Различия статистически незначимы ($p > 0,05$).

*Differences are not statistically significant ($p > 0.05$).

● Группа ортоотопического неоцистиса по Штудеру | Studer orthotopic neobladder group
 ● Группа илеокондута по Бриккеру | Bricker ileal conduit group

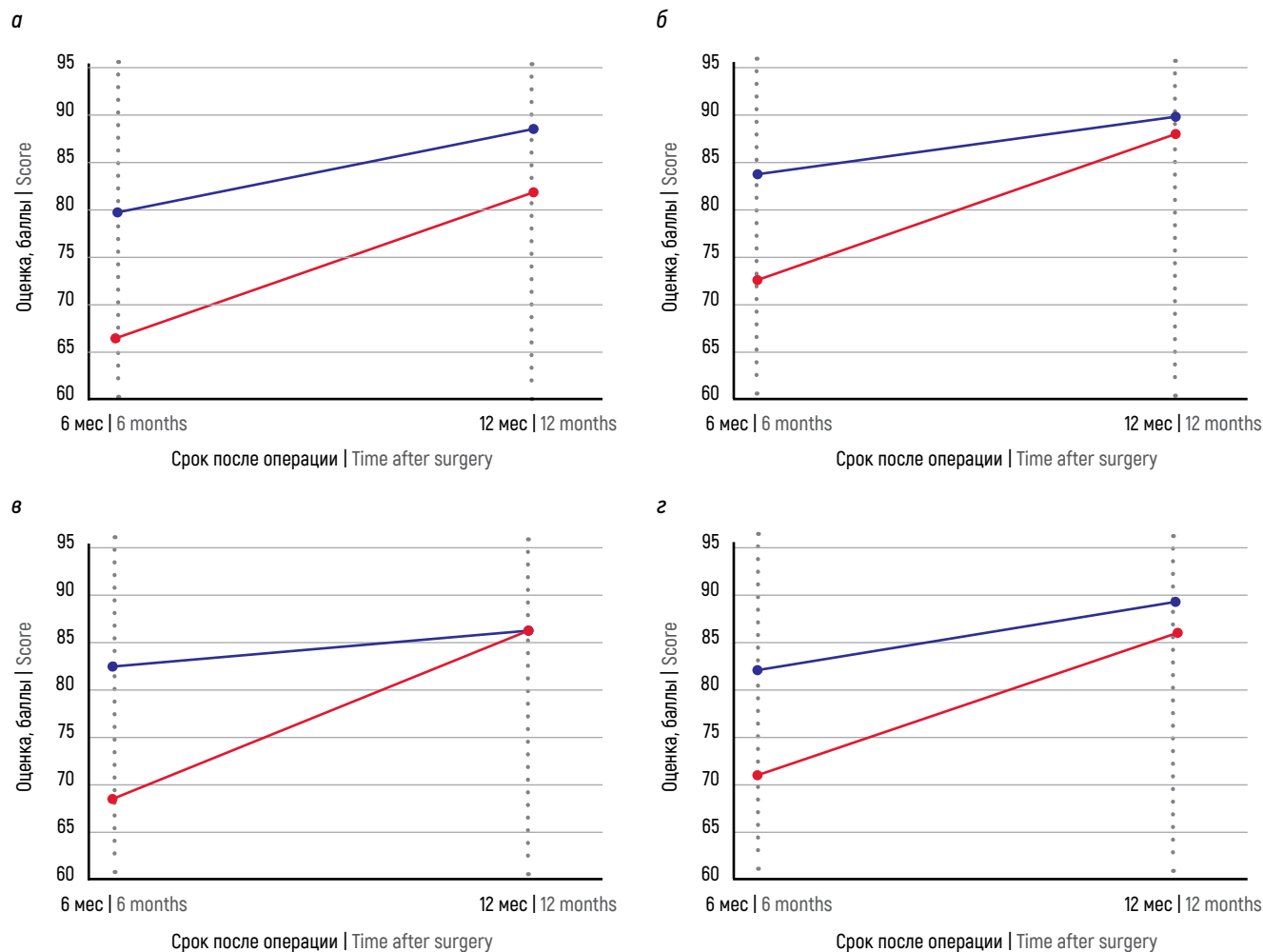


Рис. 1 | Fig. 1

Динамика показателей качества жизни после робот-ассистированной радикальной цистэктомии при использовании различных методов деривации мочи (результаты опроса по EORTC QLQ-BLM30): физическое функционирование (а), эмоциональное благополучие (б), социальное функционирование (в), когнитивное функционирование (г)

Dynamics of quality of life scores after robot-assisted radical cystectomy using different urinary diversion techniques (results of EORTC QLQ-BLM30 questionnaire): Physical functioning (a), Emotional functioning (б), Social functioning (в), Cognitive functioning (г)

III–IV степени относились несостоятельность уретоилоеоанастомоза и кишечная непроходимость, которые потребовали хирургического вмешательства. Летальных исходов не зарегистрировано.

Согласно результатам опроса по EORTC QLQ-BLM30, через 6 мес после операции пациенты из группы ортотопического неоцистиса по Штудеру демонстрировали более высокие показатели качества жизни в сравнении с пациентами группы илеокондуита по Бриккеру. В частности, по шкале физического функционирования средние значения равнялись $79,42 \pm 11,48$ балла в группе ортотопического неоцистиса по Штудеру и $66,34 \pm 13,46$ балла в группе илеокондуита по Бриккеру ($p < 0,001$). По шкале эмоционального благополучия показатели составляли соответственно $83,22 \pm 10,11$ и $72,34 \pm 12,41$ балла ($p < 0,001$). Уровень социального функционирования был выше в группе ортотопического неоцистиса по Штудеру – $82,43 \pm 12,47$ балла против $68,61 \pm 12,43$ балла в группе илеокондуита по Бриккеру ($p < 0,001$). Когнитивное функционирование также оказалось лучше в группе ортотопического неоцистиса по Штудеру – $82,15 \pm 11,56$ балла против $70,69 \pm 12,86$ балла в группе илеокондуита по Бриккеру ($p < 0,001$).

Хотя в группе ортотопического неоцистиса по Штудеру были зафиксированы более высокие показатели качества жизни, спустя 12 мес после хирургического вмешательства в обеих группах произошло уравнивание этих значений. По шкале физического функционирования средние показатели составили $87,82 \pm 9,72$ балла в группе ортотопического неоцисти-

са по Штудеру и $81,17 \pm 12,11$ балла в группе илеокондуита по Бриккеру ($p > 0,05$). Уровень эмоционального благополучия достиг $89,27 \pm 8,43$ балла и $87,41 \pm 9,32$ балла соответственно ($p > 0,05$). Социальное функционирование оценивалось в $86,24 \pm 10,42$ балла в группе ортотопического неоцистиса по Штудеру и $86,31 \pm 11,12$ балла в группе илеокондуита по Бриккеру ($p > 0,05$). Средние значения по шкале когнитивных функций равнялись $89,11 \pm 9,27$ балла в группе ортотопического неоцистиса по Штудеру и $86,13 \pm 9,82$ балла в группе илеокондуита по Бриккеру ($p > 0,05$), что свидетельствует об отсутствии статистически значимых различий (см. рисунок).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Робот-ассистированная радикальная цистэктомия представляет собой эффективный метод лечения инвазивного рака мочевого пузыря, обеспечивающий высокий профиль безопасности и хорошие функциональные результаты. Результаты исследования демонстрируют, что РАРЦ с деривацией мочи по методу Штудера характеризуется большей длительностью операции, чем метод Бриккера, но различия в объеме кровопотери являются клинически несущественными, хотя и статистически значимыми, а различия в частоте и степени периоперационных осложнений между группами отсутствуют. Качество жизни пациентов с ортотопическим неоцистисом по Штудеру выше через 6 мес после операции, но к сроку 12 мес показатели обеих групп выравниваются.

Литература | References

1. Van der Heijden A.G., Bruins H.M., Carrion A. et al. European Association of Urology Guidelines on Muscle-invasive and Metastatic Bladder Cancer: Summary of the 2025 Guidelines. *Eur Urol* 2025;87(5):582–600. DOI: 10.1016/j.eururo.2025.02.019
2. Dittono F., Vecchia A., Montanaro F. et al. Trimodal therapy vs radical cystectomy in patients with muscle-invasive bladder cancer: a systematic review and meta-analysis of comparative studies. *BJU Int* 2024;134(5):684–95. DOI: 10.1111/bju.16366
3. Павлов В.Н., Урманцев М.Ф., Бакеев М.Р. Робот-ассистированная радикальная цистэктомия как современный метод персонализированного лечения пациентов с мышечно-инвазивным раком мочевого пузыря. *Уральский медицинский журнал* 2024;23(2):54–64. DOI: 10.52420/umj.23.2.54
Pavlov V.N., Urmantsev M.F., Bakeev M.R. Robot-assisted radical cystectomy as a modern method of personalized treatment for patients with muscle-invasive bladder cancer. *Uralskiy meditsinskiy zhurnal = Ural Medical Journal* 2024;23(2):54–64. (In Russ.) DOI: 10.52420/umj.23.2.54
4. Hautmann R.E., Abol-Enein H., Davidsson T. et al. ICUD-EAU International Consultation on Bladder Cancer 2012: Urinary diversion. *Eur Urol* 2013;63(1):67–80. DOI: 10.1016/j.eururo.2012.08.050
5. Bricker E.M. Bladder substitution after pelvic exenteration. *Surg Clin North Am* 1950;30(5):1511–21. DOI: 10.1016/s0039-6109(16)33147-4
6. Studer U.E., Varol C., Danuser H. Orthotopic ileal neobladder. *BJU Int* 2004;93(1):183–93. DOI: 10.1111/j.1464-410x.2004.04641.x
7. Reumkens A., van der Zander Q., Winkens B. et al. Electrolyte disturbances after bowel preparation for colonoscopy: Systematic review and meta-analysis. *Dig Endosc* 2022;34(5):913–26. DOI: 10.1111/den.14237
8. Bucher P., Mermillod B., Gerva P., Morel P. Mechanical bowel preparation for elective colorectal surgery: a meta-analysis. *Arch Surg* 2004;139(12):1359–64. DOI: 10.1001/archsurg.139.12.1359
9. Arnold A., Aitchison L.P., Abbott J. Preoperative mechanical bowel preparation for abdominal, laparoscopic, and vaginal surgery: a systematic review. *J Minim Invasive Gynecol* 2015;22(5):737–52. DOI: 10.1016/j.jmig.2015.04.003
10. Ram E., Sherman Y., Weil R. et al. Is mechanical bowel preparation mandatory for elective colon surgery? A prospective randomized study. *Arch Surg* 2005 Mar;140(3):285–8. DOI: 10.1001/archsurg.140.3.285
11. Packiam V.T., Tsivian M., Boorjian S.A. The evolving role of lymphadenectomy for bladder cancer: why, when, and how. *Transl Androl Urol* 2020 Dec;9(6):3082–93. DOI: 10.21037/tau.2019.06.01

Вклад авторов | Authors' contributions

М.Б. Зингеренко: проведение хирургических вмешательств, разработка идеи и дизайна исследования;
Д.А. Лахно: ассистирование при выполнении хирургических вмешательств, анализ данных, коррекция текста;
А.Г. Иванов: ассистирование при выполнении хирургических вмешательств, анализ данных, коррекция текста;
И.О. Аванесян: поиск научной литературы по теме исследования, написание текста статьи.
M.B. Zingerenko: performing surgical interventions, developing the concept and design of the study;
D.A. Lakhno: assisting with surgical interventions, data analysis, proofreading;
A.G. Ivanov: assisting with surgical interventions, data analysis, proofreading;
I.O. Avanesyan: researching scientific literature on the research topic, writing the article.

ORCID авторов | ORCID of authors

М.Б. Зингеренко / M.B. Zingerenko: <https://orcid.org/0000-0002-1322-9862>
Д.А. Лахно / D.A. Lakhno: <https://orcid.org/0009-0002-5794-6369>
А.Г. Иванов / A.G. Ivanov: <https://orcid.org/0000-0001-5917-7837>
И.О. Аванесян / I.O. Avanesyan: <https://orcid.org/0009-0009-8542-4243>

Конфликт интересов | Conflict of interest

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflict of interest.

Финансирование | Funding

Работа выполнена без спонсорской поддержки.
The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов | Compliance with patient rights

Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.
All patients gave written informed consent to participate in this study.

Статья поступила: | Article submitted: 10.10.2025.
Принята к публикации: | Accepted for publication: 23.10.2025.
Рецензия: | Peer reviewed: 04.11.2025.
Опубликована онлайн: | Published online: 20.02.2026.

Робот-ассистированная панкреатодуоденальная резекция: технические особенности и результаты 178 операций

Контакты:
Игорь Леонидович
Андрейцев
andreicev@mail.ru

А.В. Шабунин, И.Л. Андрейцев, М.М. Тавобилов, А.А. Карпов, А.В. Ланцынова, М.Н. Аладин,
Е.Б. Кудряш, К.А. Абрамов

ГБУЗ «Московский многопрофильный научно-клинический центр им. С.П. Боткина Департамента
здравоохранения г. Москвы»; Россия, 125284 Москва, 2-й Боткинский проезд, 5

Введение. Панкреатодуоденальная резекция остается одной из самых непростых операций в абдоминальной хирургии из-за технических трудностей и высокой частоты осложнений. Робот-ассистированная панкреатодуоденальная резекция (РПГДР) представляет собой минимально инвазивный подход, обеспечивающий повышенную точность и визуализацию.

Цель исследования – оценить безопасность РПГДР в лечении опухолей головки поджелудочной железы, большого дуоденального сосочка и дистального отдела общего желчного протока, а также детально описать технику данной операции.

Материалы и методы. Проведен ретроспективный анализ результатов 178 РПГДР, выполненных в ГБУЗ «Московский многопрофильный научно-клинический центр им. С.П. Боткина Департамента здравоохранения г. Москвы» с января 2013 г. по октябрь 2025 г. Все операции осуществлялись на роботических хирургических системах da Vinci моделей Si и Xi. Осложнения оценивались по классификации Clavien–Dindo и критериям ISGPS (International Study Group on Pancreatic Surgery, Международная группа исследователей в области хирургии поджелудочной железы).

Результаты. Средняя продолжительность операции составила $357 \pm 7,1$ мин, объем кровопотери – 174 ± 55 мл, частота конверсий – 2,8 % ($n = 5$). Тяжелые осложнения (III–V класса по классификации Clavien–Dindo) наблюдались у 35 (19,7 %) пациентов. Послеоперационная панкреатическая фистула имела место в 66,8 % случаев, послеоперационное кровотечение – в 7,3 %, гастростаз – в 6,2 %. Летальность составила 2,8 % ($n = 5$).

Заключение. РПГДР безопасна при условии проведения опытными хирургами: частота осложнений при РПГДР сопоставима с таковой при использовании открытой и лапароскопической техники. При этом робот-ассистированная операция в сравнении с другими техниками обеспечивает снижение кровопотери, что может благоприятно влиять на онкологические исходы. Необходимы дальнейшие рандомизированные исследования для подтверждения долгосрочных преимуществ.

Ключевые слова: робот-ассистированная хирургия, панкреатодуоденальная резекция, минимально инвазивная хирургия, рак поджелудочной железы, осложнения, летальность, кровопотеря, хирургическая техника

Для цитирования: Шабунин А.В., Андрейцев И.Л., Тавобилов М.М. и др. Робот-ассистированная панкреатодуоденальная резекция: технические особенности и результаты 178 операций. Медицинская робототехника 2025;1(Спецвыпуск):32–42.

DOI: <https://doi.org/10.63769/3033-6392-2025-1-1-32-42>

Robotic pancreatoduodenectomy: technical details and results of 178 operations

A.V. Shabunin, I.L. Andreytsev, M.M. Tavobilov, A.A. Karpov, A.V. Lantsynova, M.N. Aladin, E.B. Kudryash, K.A. Abramov

S.P. Botkin Moscow Multidisciplinary Scientific and Clinical Center, Moscow Healthcare Department; 5 2nd Botkinsky Drive, Moscow 125284, Russia

Contacts: Igor Leonidovich Andreytsev andreicev@mail.ru

Introduction. Pancreatoduodenectomy remains one of the most challenging procedures in abdominal surgery due to its technical complexity and high complication rate. Robotic pancreatoduodenectomy (RPD) is a minimally invasive approach that provides enhanced precision

and visualization. This study describes the surgical technique and evaluates outcomes of RPD performed at the S.P. Botkin Moscow Multidisciplinary Scientific and Clinical Center.

The aim of the study is to evaluate safety of RPD in treatment of tumors of the head of the pancreas, major duodenal papilla, and distal part of the common bile duct, and to provide detailed description of the technique.

Materials and methods. A retrospective analysis of 178 RPDs performed between January 2013 and October 2025 at the S.P. Botkin Moscow Multidisciplinary Scientific and Clinical Center of the Moscow Healthcare Department was conducted. All procedures were performed using the da Vinci Si/Xi robotic surgical systems. Complications were graded according to the Clavien–Dindo classification, and pancreas-specific complications were assessed using the International Study Group on Pancreatic Surgery (ISGPS) definitions.

Results. Mean operative time was 357 ± 7.1 min; mean blood loss was 174 ± 55 mL; conversion rate was 2.8 % ($n = 5$). Major complications (Clavien–Dindo grades III–V) occurred in 19.7 % ($n = 35$) of patients. Postoperative pancreatic fistula developed in 66.8 % of patients, post-pancreatectomy hemorrhage in 7.3 %, and gastroparesis in 6.2 %. Mortality was 2.8 % ($n = 5$).

Conclusion. RPD is feasible and safe in experienced hands, with an acceptable complication profile comparable to open and laparoscopic techniques. It is associated with reduced blood loss and has potential to improve oncological outcomes. Further randomized studies are needed to confirm its long-term benefits.

Keywords: robot-assisted surgery, pancreatoduodenectomy, minimally invasive surgery, pancreatic cancer, complications, mortality, blood loss, surgical technique

For citation: Shabunin A.V., Andreytsev I.L., Tavobilov M.M. et al. Robotic pancreatoduodenectomy: technical details and results of 178 operations. *Meditinskaya robototekhnika = Journal of Medical Robotics* 2025;1(Special issue):32–42. (In Russ.)

DOI: <https://doi.org/10.63769/3033-6392-2025-1-1-32-42>

ВВЕДЕНИЕ

Панкреатодуоденальная резекция (ПДР), выполняемая при опухолях головки поджелудочной железы, фатерова соска и дистального отдела холедоха, это одна из самых сложных операций в абдоминальной хирургии. Техническая сложность вмешательства обусловлена ретроперитонеальным расположением органа, близостью магистральных сосудов и необходимостью формирования нескольких анастомозов.

Первую лапароскопическую ПДР выполнили M. Gagner и A. Pomr в 1994 г., подтвердив принципиальную возможность минимально инвазивного подхода [1]. Дальнейшие исследования продемонстрировали его преимущества перед открытой операцией — уменьшение объема кровопотери, травматичности и длительности госпитализации [2]. Однако высокая сложность и большая продолжительность вмешательства ограничивали его широкое применение. Кроме того, в исследовании LEOPARD-2, результаты которого опубликованы в 2019 г., зафиксирована тенденция к большей летальности после лапароскопической ПДР по сравнению с открытой ПДР (10 % против 2 %). Исследователи отметили, что на результаты могли повлиять опыт, кривая обучения и количество выполняемых хирургом за год операций, вследствие чего внимание врачей сосредоточилось на вопросах обучения и стандартизации вмешательств [3].

Развитие роботических технологий стало следующим этапом эволюции минимально инвазивной хирургии поджелудочной железы. В 2001 г. P. Giulianotti

с коллегами впервые выполнил робот-ассистированную ПДР, продемонстрировав преимущества роботической платформы — трехмерную визуализацию, эргономичное управление инструментами и повышенную точность движений с их масштабированием [4]. Современные метаанализы показали, что результаты минимально инвазивных ПДР сопоставимы с результатами открытых ПДР при меньшем объеме кровопотери и меньшей частоте раневых инфекций [2].

В России первые лапароскопические ПДР выполнены в 2006–2007 гг. группой И.Е. Хатькова [5], а робот-ассистированные — в 2014–2015 гг. А.Г. Кригером и его командой [6]. К 2018 г. накоплен отечественный опыт более 200 полностью лапароскопических ПДР со снижением частоты осложнений и летальности (≤ 6 %) [5]. Робот-ассистированные вмешательства характеризовались не только сопоставимой радикальностью, но и снижением объема интраоперационной кровопотери при стабильных сроках госпитализации.

Однако различия в хирургической технике (гибридные или полностью роботизированные операции, варианты резекции и формирования анастомозов) затрудняют сравнение результатов и диктуют необходимость ее стандартизации.

Цель настоящего исследования — оценить безопасность полностью робот-ассистированной панкреатодуоденальной резекции (РПГДР) в лечении опухолей головки поджелудочной железы, большого дуоденального сосочка и дистального отдела общего желчного протока, а также детально описать технику

данной операции, принятую в ГБУЗ «Московский многопрофильный научно-клинический центр им. С.П. Боткина Департамента здравоохранения г. Москвы».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С января 2013 г. по октябрь 2025 г. выполнено 178 РПГДР. В исследуемую группу вошли пациенты с опухолями головки поджелудочной железы, фатерова соска, терминального отдела холедоха, а также с псевдотуморозной парадуоденальной формой хронического панкреатита с явлениями дуоденальной непроходимости.

Перед операцией тщательно оценивали резектабельность опухоли, исследовали анатомию сосудов для выявления атипичных вариантов, измеряли диаметр главного протока поджелудочной железы.

С 2023 г. все пациенты проходили стратификацию риска послеоперационных осложнений по интегральной шкале PD-ROBOSCORE [7].

Осложнения оценивались по классификации Clavien–Dindo [8] и критериям ISGPS (International Study Group on Pancreatic Surgery, Международная группа исследователей в области хирургии поджелудочной железы) [9].

Операционное оборудование и бригада были стандартными во всех случаях. Все вмешательства выполнялись с помощью роботизированной системы da Vinci моделей Si или Xi (Intuitive, США).

ТЕХНИКА ОПЕРАЦИИ

Подготовка к операции. Пациента укладывали на спину с разведенными ногами («французская» по-



Рис. 1 | Fig. 1

Положение пациента после докинга роботического комплекса перед выполнением робот-ассистированной панкреатодуоденальной резекции
Patient position after robotic complex docking prior to robotic pancreaticoduodenectomy

зиция). Операционный стол устанавливали в обратное положение Тренделенбурга с приподнятым головным концом ($\sim 15^\circ$) для улучшения экспозиции верхнего этажа. Хирург-ассистент размещался между ног пациента, тогда как стойка робота (patient cart) подводилась со стороны головного конца стола под углом $\sim 45^\circ$. Для предотвращения смещения пациента применяли фиксирующие упоры. После индукции анестезии и установки назогастрального зонда выполняли инфузию для создания карбоксиперитонеума (до 15 мм рт. ст.). После установки инструментария проводили докинг робота; среднее время подключения составляло не более 5 мин. Итоговое положение пациента и робота показано на рис. 1.

Расположение троакаров. Использовали стандартную 5-троакарную конфигурацию: один 12-миллиметровый порт для эндоскопа, три роботических (8-миллиметровых) порта и один ассистентский (12-миллиметровый) порт. Дополнительно во всех случаях устанавливали второй ассистентский (5-миллиметровый) порт, что позволяло ассистенту работать двумя руками. Такой прием особенно важен при развитии кровотечения, когда манипуляции роботизированными инструментами ограничены. Расстановку портов выполняли под прямым лапароскопическим контролем через ассистентский канал после установки камеры. Основные порты располагались по дуге в правой верхней половине живота: обычно один чуть латеральнее пупка (камера), два — по среднеключичной линии справа, один — в эпигастрии слева от срединной линии. Ассистентские троакары размещались в левой мезогастральной области. Схема расположения троакаров представлена на рис. 2.

Инструментарий. На консоли хирурга использовали: двустворчатый диссектор (fenestrated bipolar forceps) для биполярной коагуляции, монополярные ножницы (hot shears), ультразвуковой диссектор (Harmonic ACE, Ethicon, США), иглодержатель (large needle driver) для шва и клипсапplikатор. Третья «рука» робота оснащалась зажимом (ProGrasp, Intuitive, США) для тракции. Ассистент работал обычными лапароскопическими инструментами: мягким зажимом («бабочкой»), аспиратором. Для гемостаза и лигирования сосудов применялись как полимерные клипсы Hem-o-lok (Wöck, Германия), так и металлические клипсы, в зависимости от калибра сосуда и этапа вмешательства. Энергетические приборы позволяли сочетать прецизионную диссекцию и надежную остановку кровотечения, минимизируя интраоперационную кровопотерю.

Резекционный этап. Последовательность этапов была аналогична таковой при лапароскопической операции.

1. Доступ и ревизия. После проникновения в брюшную полость осматривали все ее отделы, в том числе

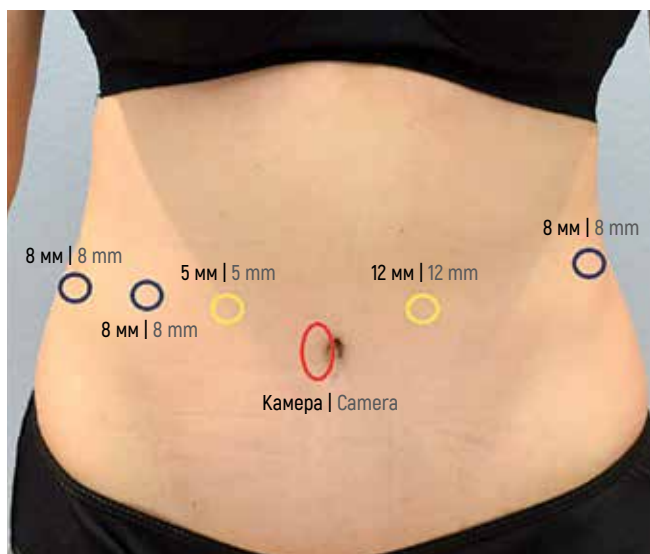


Рис. 2 | Fig. 2

Схема расположения троакаров на теле для проведения робот-ассистированной панкреатодуоденальной резекции. Синим цветом отмечены 8-миллиметровые роботические троакары, желтым – ассистентские, красным – троакар для роботической камеры (12-миллиметровый при использовании da Vinci модели Si или 8-миллиметровый при использовании модели Xi) Diagram of trocar locations on the body for robotic pancreatoduodenectomy. Blue color denotes 8-millimeter robotic trocars, yellow – assistant trocars, red – trocar for robotic camera (12-millimeter in the da Vinci model Si or 8-millimeter in the Xi model)

печень и брюшину, для исключения отдаленных метастазов и канцероматоза. Затем производили широкое открытие сальниковой сумки – разрез брюшины по краю поперечной ободочной кишки. Тело и антральный отдел желудка подтягивали вверх с помощью третьей «руки» робота (зажим ProGrasp фиксировал переднюю стенку желудка), что обеспечивало натяжение и удобный доступ к малому сальнику. Одновременно две рабочие «руки» (биполярный и ультразвуковой диссекторы) разделяли желудочно-ободочную связку по сосудистым аркадам, начиная от середины большой кривизны и направляясь к воротам селезенки. Этот этап открывал доступ к поджелудочной железе и верхней брыжеечной вене снизу. Ассистент создавал контртракцию за большой сальник и желудок, собирая кровь аспиратором.

2. Мобилизация двенадцатиперстной кишки (маневр Кохера). После обработки большого сальника выполняли стандартный маневр Кохера: брюшину по латеральному краю двенадцатиперстной кишки вскрывали и, сочетая тракцию кишки вверх и в медиальном направлении с диссекцией ультразвуковым скальпелем, отслаивали нисходящую часть двенадцатиперстной кишки и головку поджелудочной железы



Рис. 3 | Fig. 3

Этапы робот-ассистированной панкреатодуоденальной резекции. Клипирование gastroduodenальной артерии¹

Stages of robotic pancreatoduodenectomy. Clipping of the gastroduodenal artery¹

от забрюшинной клетчатки вплоть до уровня двенадцатиперстно-тощекишечного изгиба. Таким образом обнажались нижняя полая вена, правая почка, мочеточник, обеспечивался подход к головке поджелудочной железы снизу и визуализировалась верхняя брыжеечная вена по нижнему краю железы.

3. Скелетизация сосудистых структур. Для профилактики геморрагических осложнений особое внимание уделялось идентификации и раннему контролю ключевых сосудов: воротной и верхней брыжеечной вен, общей печеночной и gastroduodenальной артерий. У верхнего края поджелудочной железы острым и тупым путем выделяли печеночно-двенадцатиперстную связку. Выполняли мобилизацию общей и собственной печеночной артерии, лимфодиссекцию 8а, 8р и 9 групп лимфатических узлов, далее проводили мобилизацию gastroduodenальной артерии, затем накладывали на нее пластиковые клипсы Hem-o-lok XL (Weck, Германия) с двух сторон и пересекали ножницами (рис. 3). После этого ниже уровня пересечения gastroduodenальной артерии начинали формирование туннеля под перешейком поджелудочной железы: тупфером и биполярным диссектором осторожно отслаивали паренхиму железы от передней поверхности воротной вены (рис. 4). Как только появлялось «окно» между поджелудочной железой и веной, через него проводили эластический турникет – этап завершался полной мобилизацией перешейка поджелудочной железы над воротной веной. Наличие туннеля позволяло безопасно пересечь железу, не повредив воротную вену.

4. Пересечение желудка и проксимальных отделов тонкой кишки. Резекцию желудка выполняли на 5–6 см

¹Данная фотография и все следующие выполнены через роботическую камеру.

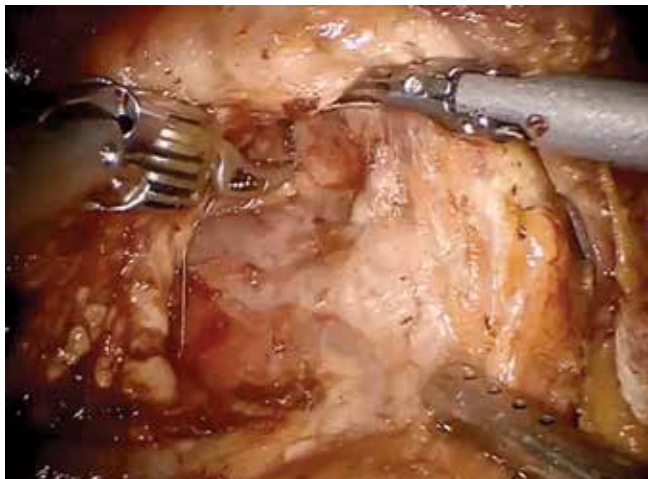


Рис. 4 | Fig. 4

Этапы робот-ассистированной панкреатогастродуоденальной резекции. Формирование туннеля между перешейком поджелудочной железы и воротной веной

Stages of robotic pancreatoduodenectomy. Formation of a tunnel between the neck of the pancreas and the portal vein

проксимальнее привратника. Для этого использовали 60-миллиметровый эндоскопический сшивающий степлер с синей или фиолетовой кассетой (рис. 5). Далее пересекали начальный отдел тощей кишки: после мобилизации связки Трейтца выводили петлю проксимальной тощей кишки в правый верхний квадрант через предварительно созданное окно позади сосудов (между брыжейкой поперечной кишки и верхней брыжеечной веной). Кишку пересекали 60-миллиметровым сшивающим степлером с синей или фиолетовой кассетой. Таким образом, дуоденально-тощекишечный



Рис. 5 | Fig. 5

Этапы робот-ассистированной панкреатогастродуоденальной резекции. Пересечение антрального отдела желудка линейным сшивающим степлером

Stages of robotic pancreatoduodenectomy. Transection of the stomach antrum with a linear stapler



Рис. 6 | Fig. 6

Этапы робот-ассистированной панкреатогастродуоденальной резекции. Пересечение поджелудочной железы

Stages of robotic pancreatoduodenectomy. Transection of the pancreas

переход пересекали на расстоянии ~15 см от связки Трейтца.

5. Пересечение поджелудочной железы. Уровень рассечения паренхимы определяли по расположению опухоли (обычно — перешеек поджелудочной железы, кпереди от воротной вены). Железу пересекали ультразвуковым диссектором по намеченной линии в непосредственной близости от проведенного турникета (рис. 6). В момент вскрытия главного протока его стенку иссекали «холодными» ножницами без коагуляции.

6. Выделение крючковидного отростка, холецистэктомия и пересечение желчного протока. Этот этап наиболее сложен технически, так как требует мобилизации глубоко расположенных тканей около верхней брыжеечной артерии и верхней брыжеечной вены. С помощью ультразвукового диссектора выполняли мобилизацию крючковидного отростка от поверхностей верхней брыжеечной артерии и верхней брыжеечной вены, двигаясь снизу вверх; попутно клипировали и нижние панкреатодуоденальные артериальные и венозные ветви. Ассистент обеспечивал тракцию резецируемого блока кверху и вправо. После отсечения крючковидного отростка продолжали мобилизацию печеночно-двенадцатиперстной связки с лимфодиссекцией 12p, 12a групп лимфатических узлов до обнажения общего желчного протока. Далее выполняли холецистэктомию, на желчный проток накладывали сосудистый зажим типа «бульдог», после чего общий желчный проток пересекали «холодными» ножницами (рис. 7). Из просвета желчного протока выполняли посев на микрофлору. После отсечения последних соединительнотканых волокон головки поджелудочной железы и двенадцатиперстная кишка оказывались полностью мобилизованы. Резецируемый органокomплекс: дистальный отдел желудка, двенадцатиперстную кишку,



Рис. 7 | Fig. 7

Этапы робот-ассистированной панкреатогастродуоденальной резекции. Пересечение общего желчного протока
Stages of robotic pancreatoduodenectomy. Transection of the common bile duct

головку и перешеек поджелудочной железы, желчный пузырь и дистальную часть холедоха — помещали в пластиковый эндоскопический экстракционный мешок. Важный технический нюанс: эвакуацию препарата из брюшной полости производили после наложения анастомозов через разрез по Пфанненштилю.

7. Формирование панкреатоэнтероанастомоза.

Во всех случаях формировали двухрядный панкреатоэнтероанастомоз по модифицированной технике Блумгарта. В главном протоке поджелудочной железы устанавливали мультиперфорированный стент. Швы накладывали с робот-ассистированием:

- 1) два U-образных шва через всю паренхиму поджелудочной железы и серозную оболочку тонкой кишки нитью Vicryl 4/0 с прямой иглой;
- 2) внутренний ряд — однорядный узловый шов нитью Prolene 4/0, внешний ряд — швы через капсулу поджелудочной железы и серозную оболочку тонкой кишки нитью Vicryl 4/0 (рис. 8).

8. Формирование гепатикоеюноанастомоза. Гепатикоеюноанастомоз накладывали на той же петле тонкой кишки примерно на 12–15 см ниже панкреатоэнтероанастомоза. Использовали однорядный узловый шов атравматической нитью PDS 4/0. Диаметр анастомоза соответствовал диаметру общего печеночного желчного протока (~1 см) (рис. 9).

9. Формирование гастроэнтероанастомоза производилось на отключенной по Ру кишке на отводящей петле по типу «конец в бок». В нашем центре предпочтение отдается механическому гастроэнтероанастомозу. Он осуществляется накладыванием линейного сшивающего аппарата на заднюю стенку желудка (рис. 10).



Рис. 8 | Fig. 8

Этапы робот-ассистированной панкреатогастродуоденальной резекции. Формирование панкреатоэнтероанастомоза
Stages of robotic pancreatoduodenectomy. Formation of a pancreatico-enteric anastomosis



Рис. 9 | Fig. 9

Этапы робот-ассистированной панкреатогастродуоденальной резекции. Формирование гепатикоеюноанастомоза
Stages of robotic pancreatoduodenectomy. Formation of a biliary-enteric anastomosis

10. Формирование энтероэнтероанастомоза между приводящей и отводящей петлями тощей кишки по стандартной схеме Ру (в 40–50 см от гастроэнтероанастомоза). Анастомоз накладывали по типу «бок в бок», техническое окно также закрывали путем механического прошивания отверстия.

Все анастомозы формировались с использованием робот-ассистированной техники и не потребовали конверсии.



Рис. 10 | Fig. 10

Этапы робот-ассистированной панкреатогастродуоденальной резекции. Формирование гастроэнтероанастомоза
Stages of robotic pancreaticoduodenectomy. Formation of a gastro-enteric anastomosis

Завершение операции. По окончании реконструкции устанавливали плоский мультиперфорированный силиконовый дренаж к гепатикоеюноанастомозу, второй дренаж оборачивали вокруг панкреатоэнтероанастомоза. Дренажи выводили через отдельные кожные контрапертуры, через ранее сформированные троакарные доступы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Общие интраоперационные показатели. Робот-ассистированные резекции выполнены всем 178 пациентам; конверсия доступа потребовалась у 5 (2,8 %) пациентов. В 4 случаях причиной конверсии было интраоперационное кровотечение (требовавшее быстрой лапаротомии), в 1 — плотные инфильтративно-спаечные изменения в области головки поджелудочной железы на фоне хронического панкреатита, не позволившие безопасно выделить структуры печеночно-двенадцатиперстной связки.

Средняя продолжительность робот-ассистированной ПДР составила 357 мин. Кривые обучения продемонстрировали сокращение длительности операции по мере накопления опыта хирургами. Средний объем кровопотери не превышал 200 мл (174 ± 55 мл). Количество удаленных лимфатических узлов варьировало от 20 до 37 (в среднем 28), что соответствует адекватному объему лимфодиссекции. R0-резекция по гистологическим данным достигнута у 95,5 % пациентов. У 3 (1,7 %) пациентов потребовалась краевая резекция воротной вены.

Послеоперационные осложнения. У 104 (58,4 %) пациентов в послеоперационном периоде зарегистрированы те или иные осложнения, большинство из которых были легкими или средней тяжести. Тяжелые осложнения (III–V класса по классификации Clavien–Dindo) возникли после РПГДР у 35 (19,7 %) пациентов, в том

числе IIIa класса — у 19 (10,7 %), IIIb — у 6 (3,8 %), IV — у 5 (2,8 %), V — у 5 (2,8 %).

Среди специфических осложнений РПГДР (выделяемых по критериям ISGPS) наиболее частой оказалась панкреатическая фистула — у 119 (66,8 %) из 178 пациентов. Однако в большинстве случаев — в 91 (51,1 %) — фистулы соответствовали определению биохимической утечки (класс А, или BL по критериям ISGPS 2016 г.), не требовавшей вмешательства и самостоятельно проходившей в течение 1–2 нед. Клинически значимая панкреатическая фистула наблюдалась существенно реже: 23 (12,9 %) пациента имели фистулу класса В; у 5 (2,8 %) развилась тяжелая фистула класса С.

Послеоперационное кровотечение возникло у 13 (7,3 %) пациентов, из них у 8 (4,5 %) — класса А, у 3 (1,7 %) — класса В, у 2 — класса С.

Гастростаз наблюдался после РПГДР у 11 (6,2 %) пациентов, в том числе у 7 — класса А, у 4 — класса В. Класс С не встречался. Все случаи гастростаза успешно преодолены консервативно; ни один пациент не оперирован повторно по этой причине. Факторами риска развития гастростаза являлись сопутствующая клинически значимая панкреатическая фистула и длительное стояние абдоминальных дренажей.

ОБСУЖДЕНИЕ

Минимально инвазивные методики ПДР во многих исследованиях продемонстрировали результаты, сопоставимые с результатами открытой операции, при условии соблюдения онкологических принципов и проведения вмешательств в крупных медицинских центрах с высокопрофессиональными операционными бригадами [2, 10].

Так, Т. Kabir и соавт. выполнили метаанализ 4 рандомизированных контролируемых исследований (РКИ) и 23 наблюдательных сравнительных исследований (всего 4945 пациентов). Он показал, что лапароскопическая ПДР и робот-ассистированная ПДР по периоперационным показателям не уступают открытой ПДР, а по ряду параметров даже превосходят ее. В частности, робот-ассистированный доступ сопровождается меньшей интраоперационной кровопотерей (в среднем на 210 мл меньше, чем при лапаротомии) и реже приводит к инфекциям послеоперационной раны (отношение шансов $\sim 0,35$ в сравнении с открытой операцией). Отмечено также снижение частоты гастропареза и сокращение длительности стационарного лечения при минимально инвазивных вмешательствах [2]. Эти преимущества, однако, проявляются при выполнении ПДР в специализированных центрах с большим потоком пациентов, где хирурги прошли достаточное обучение [10, 11].

Согласно систематическому обзору S.A. Sattari и соавт., лапароскопическая ПДР в руках опытных

хирургов крупных клиник столь же безопасна и эффективна, как открытая [12]. Напротив, недостаточная подготовка хирургической бригады и малый опыт выполнения операции могут нивелировать плюсы метода: например, в голландском РКИ LEOPARD-2 лапароскопическая ПДР ассоциировалась с тенденцией к повышенной 90-дневной летальности (10 % против 2 % при открытой операции, $p = 0,20$), из-за чего исследование было досрочно остановлено [3]. Этот тревожный сигнал снова подчеркнул необходимость стандартизации хирургической техники и достаточного обучения перед широким внедрением минимально инвазивной ПДР [10].

Робот-ассистированная хирургия стала следующим этапом развития ПДР, позволив преодолеть ряд ограничений лапароскопии. Появилась улучшенная трехмерная визуализация, был устранен тремор рук и повышена эргономичность движений, а главное — подвижность «рук» робота облегчила работу в узком ретроперитонеальном пространстве. P.C. Giulianotti с коллегами первым выполнил робот-ассистированную ПДР в 2001 г. [4]. Последующие исследования подтвердили применимость робот-ассистированной техники и сопоставимость ее онкологической радикальности с аналогичным показателем открытой операции [13]. При этом робот-ассистированный подход снижает частоту конверсий по сравнению с чисто лапароскопическим: в недавнем анализе Национальной базы онкологических данных США (National Cancer Database, 2010–2020) частота конверсии лапароскопии в лапаротомию при робот-ассистированной ПДР была значительно ниже, чем при ПДР без использования роботических комплексов [13]. Наша серия операций подтверждает этот вывод: конверсия потребовалась лишь у 2,8 % больных, что существенно меньше, чем сообщалось в первом пилотном РКИ EUROPA, в котором сравнили результаты робот-ассистированной и открытой ПДР (23 % конверсий) [14]. Такой низкий показатель отражает продуманную стратификацию пациентов и накопленный опыт нашей команды. Средняя длительность операции (357 мин) сопоставима с данными зарубежных центров на этапе стабилизации техники операции. Например, по данным A. Zureikat и соавт., длительность робот-ассистированной ПДР выходит на плато ~390 мин после выполнения ~240 операций [15]. В нашем центре наблюдалось аналогичное сокращение длительности по мере накопления опыта, что согласуется с общемировой тенденцией в обучении.

Анализируя качество выполненной резекции, следует отметить в нашей серии высокий процент R0-резекций (95,5 %) и достаточный объем лимфодиссекции (~28 лимфатических узлов). Эти показатели соответствуют данным научной литературы об открытых

и минимально инвазивных вмешательствах при опухолях панкреатодуоденальной зоны [2]. Ключевой принцип онкохирургии — радикальность — полностью соблюден при робот-ассистированном подходе. Более того, при необходимости сосудистых резекций робот-ассистированная техника позволяет выполнить их прецизионно и безопасно, что отмечают и зарубежные авторы. Например, в крупнейшей серии из 500 робот-ассистированных ПДР, опубликованной A. Zureikat и соавт., частота R0-резекций и количество удаленных лимфатических узлов не уступали аналогичным показателям открытых операций, а рост доли сосудистых резекций по мере накопления опыта не ухудшал результатов [15].

Частота послеоперационных осложнений в нашем исследовании находится на приемлемом уровне и сопоставима с данными литературы. Общая частота осложнений (42,1 %) попадает в диапазон 40–50 % — такая частота наблюдается в крупных сериях случаев и при открытых ПДР [15]. Частота тяжелых осложнений (III–V класса по классификации Clavien–Dindo) составила 19,7 %, что близко к показателю крупных центров: например, в серии Pittsburgh тяжелые осложнения наблюдались приблизительно у 24 % пациентов [15]. Госпитальная летальность в нашем центре (2,8 %) также не превышает мировые данные (2–5 %) [15].

Отдельного обсуждения требуют специфические осложнения операций на поджелудочной железе. Частота формирования клинически значимой панкреатической фистулы (класса В/С) в нашем исследовании составила 15,7 %, что сопоставимо с данными научной литературы. В метаанализах сообщается о сходной частоте возникновения панкреатической фистулы при открытой и малоинвазивной ПДР — 10–15 % [15]. При этом большинство фистул в нашем исследовании были «биохимическими утечками» (класса А) и разрешились консервативно, не повлияв на исходы. Это подчеркивает важность использования современного определения панкреатической фистулы и выделения клинически значимых типов несостоятельности панкреатоэнтероанастомоза. Частота послеоперационного кровотечения класса В/С в нашем исследовании (2,8 %) ниже, чем в среднем по данным литературы (8–10 %) [16]. Гастростаз наблюдался у 6,2 % пациентов, причем ни в одном случае не потребовалось повторного вмешательства. Данный показатель заметно ниже, чем в большинстве мировых публикаций (10–20 %) [16].

Различия в технических деталях, описанные в научных источниках, затрудняют прямое сравнение результатов разных центров. Отдельные бригады выполняют так называемые «гибридные» вмешательства (лапароскопическую резекцию с робот-ассистированной

реконструкцией), другие придерживаются полностью лапароскопической или роботизированной тактики [4]. Различаются и подходы к формированию панкреатоэнтероанастомоза: однорядный или двухрядный шов, методики Блумгарта или Wirsung-to-mucosa и т. д. Эти нюансы подтверждают необходимость стандартизации: только унификация ключевых этапов операции позволит объективно сопоставлять исходы и обучать новых специалистов [4].

Наконец, успешное внедрение робот-ассистированной ПДР немыслимо без централизованного подхода к обучению. Международный опыт (например, голландская программа LAELAPS) демонстрирует, что многоцентровое обучение и наставничество позволяют «второму поколению» хирургов осваивать робот-ассистированную ПДР без большого количества осложнений на начальном этапе [11]. М. Zwart и соавт. сообщают о достижении приемлемых результатов уже в первые годы работы новых центров при условии кураторства опытных хирургов [17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Робот-ассистированная панкреатодуоденальная резекция является закономерным этапом эволюции минимально инвазивной хирургии поджелудочной железы. Применение роботической платформы обеспечивает высокую точность диссекции в сосудистых зонах и лучшую прецизионность реконструктивного этапа при соблюдении онкологических принципов радикальности. В специализированных центрах РПГДР обеспечивает стабильные результаты и приемлемую частоту периоперационных осложнений.

Безопасное внедрение робот-ассистированной техники возможно при ее стандартизации, а также при отличной подготовке хирургической бригады и регламентации периоперационного ведения пациентов с использованием валидированных шкал стратификации риска послеоперационных осложнений. Лучшие результаты достигаются при концентрации операций в центрах с большим потоком пациентов, при наличии междисциплинарной бригады и четкого системного контроля качества медпомощи.

Литература | References

- Gagner M., Pomp A. Laparoscopic pylorus-preserving pancreatoduodenectomy. *Surg Endosc* 1994;8(5):408–10. DOI: 10.1007/BF00642443
- Kabir T., Tan H.L., Syn N.L. et al. Outcomes of laparoscopic, robotic, and open pancreatoduodenectomy: A network meta-analysis of randomized controlled trials and propensity-score matched studies. *Surgery* 2022;171(2):476–89. DOI: 10.1016/j.surg.2021.07.020
- Van Hilst J., de Rooij T., Bosscha K. et al. Laparoscopic *versus* open pancreatoduodenectomy for pancreatic or periampullary tumours (LEOPARD-2): a multicentre, patient-blinded, randomised controlled phase 2/3 trial. *Lancet Gastroenterol Hepatol* 2019;4(3):199–207. DOI: 10.1016/S2468-1253(19)30004-4
- Giulianotti P.C., Mangano A., Bustos R.E. et al. Operative technique in robotic pancreaticoduodenectomy (RPD) at University of Illinois at Chicago (UIC): 17 steps standardized technique: Lessons learned since the first worldwide RPD performed in the year 2001. *Surg Endosc* 2018;32(10):4329–36. DOI: 10.1007/s00464-018-6228-7
- Хатьков И.Е., Цвиркун В.В., Израйлов Р.Е. и др. Лапароскопические операции на поджелудочной железе: 11-летний опыт специализированного центра. *Альманах клинической медицины* 2018;46(6):640–7. DOI: 10.18786/2072-0505-2018-466-640-647
- Khatkov I.E., Tsvirkun V.V., Izrailov R.E. et al. Laparoscopic interventions in the pancreas: an 11-year experience of a specialized center. *Almanakh klinicheskoy meditsiny = Almanac of Clinical Medicine* 2018;46(6):640–7. (In Russ.). DOI: 10.18786/2072-0505-2018-466-640-647
- Кригер А.Г., Берелавичус С.В., Горин Д.С. и др. Робот-ассистированная панкреатодуоденальная резекция. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова* 2015;(9):50–6. DOI: 10.17116/hirurgia2015950-56
- Kruger A.G., Berelavichus S.V., Gorin D.S. et al. Robot-assisted pancreatoduodenectomy. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova = Pirogov Russian Journal of Surgery* 2015;(9):50–6. (In Russ.). DOI: 10.17116/hirurgia2015950-56
- Napoli N., Cacace C., Kauffmann E.F. et al. The PD-ROBOSCORE: A difficulty score for robotic pancreatoduodenectomy. *Surgery* 2023;173(6):1438–46. DOI: 10.1016/j.surg.2023.02.020
- Dindo D., Demartines N., Clavien P.A. Classification of surgical complications: a new proposal with evaluation in a cohort of 6336 patients and results of a survey. *Ann Surg* 2004;240(2):205–13. DOI: 10.1097/01.sla.0000133083.54934.ae
- Bassi C., Marchegiani G., Dervenis C. et al. The 2016 update of the International Study Group (ISGPS) definition and grading of postoperative pancreatic fistula: 11 Years After. *Surgery* 2017;161(3):584–591. DOI: 10.1016/j.surg.2016.11.014. Erratum in: *Surgery* 2024;176(3):988–9. DOI: 10.1016/j.surg.2024.05.043
- De Graaf N., Emmen A.M.L.H., Ramera M. et al. Minimally invasive *versus* open pancreatoduodenectomy for pancreatic and peri-ampullary neoplasm (DIPLOMA-2): study protocol for an international multicenter patient-blinded randomized controlled trial. *Trials* 2023;24(1):665. DOI: 10.1186/s13063-023-07657-7
- De Graaf N., Hilal M.A., Besselink M.G. Robotic pancreatoduodenectomy: an ongoing exploration. *Lancet Reg Health Eur* 2024;39:100880. DOI: 10.1016/j.lanepe.2024.100880
- Sattari S.A., Sattari A.R., Makary M.A. et al. Laparoscopic *versus* open pancreatoduodenectomy in patients with periampullary tumors: a systematic review and meta-analysis. *Ann Surg* 2023;277(5):742–55. DOI: 10.1097/SLA.0000000000005785

13. Wehrle C.J., Chang J.H., Gross A.R. et al. Comparing oncologic and surgical outcomes of robotic and laparoscopic pancreatoduodenectomy in patients with pancreatic cancer: a propensity-matched analysis. *Surg Endosc* 2024;38(5):2602–10. DOI: 10.1007/s00464-024-10783-1
14. Klotz R., Mihaljevic A.L., Kulu Y. et al. Robotic *versus* open partial pancreatoduodenectomy (EUROPA): a randomised controlled stage 2b trial. *Lancet Reg Health Eur* 2024;39:100864. DOI: 10.1016/j.lanepe.2024.100864
15. Zureikat A.H., Beane J.D., Zenati M.S. et al. 500 Minimally Invasive Robotic Pancreatoduodenectomies: One Decade of Optimizing Performance. *Ann Surg* 2021;273(5):966–72. DOI: 10.1097/SLA.0000000000003550
16. Joseph N., Varghese C., Lucocq J. et al. Network meta-analysis and trial sequential analysis of randomised controlled trials comparing robotic, laparoscopic, and open pancreatoduodenectomy. *Ann Surg Open* 2024;5(4):e507. DOI: 10.1097/AS9.0000000000000507
17. Zwart M.J.W., van den Broek B., de Graaf N. et al. The feasibility, proficiency, and mastery learning curves in 635 robotic pancreatoduodenectomies following a multicenter training program: “standing on the shoulders of giants”. *Ann Surg* 2023;278(6):e1232–41.

Вклад авторов | Authors' contributions

А.В. Шабунин: разработка концепции и дизайна исследования, общее научное руководство, участие в выполнении хирургических вмешательств, критический анализ и окончательное утверждение текста статьи;
 И.Л. Андрейцев: выполнение робот-ассистированных хирургических вмешательств, разработка и стандартизация хирургической техники, анализ клинических результатов, подготовка разделов «Материалы и методы» и «Техника операции»;
 М.М. Тавобилов: выполнение хирургических вмешательств, клиническое ведение пациентов, анализ периоперационных и послеоперационных осложнений, участие в интерпретации результатов исследования;
 А.А. Карпов: выполнение робот-ассистированных хирургических вмешательств, сбор и систематизация клинических данных, участие в анализе результатов исследования;
 А.В. Ланцынова: клиническое наблюдение и ведение пациентов в послеоперационном периоде, сбор данных о послеоперационных осложнениях, участие в подготовке раздела «Результаты»;
 М.Н. Аладин: ассистенция при выполнении робот-ассистированных операций, сбор, обработка и статистический анализ данных, участие в интерпретации результатов, подготовка разделов «Результаты» и «Обсуждение», написание и редактирование статьи;
 Е.Б. Кудряш: ассистенция при выполнении хирургических вмешательств, поиск и анализ научной литературы по теме исследования, участие в написании раздела «Обсуждение», редактирование текста статьи;
 К.А. Абрамов: участие в разработке дизайна исследования, методологическая поддержка, анализ исходов, редактирование статьи.
 A.V. Shabunin: study concept and design, overall scientific supervision, participation in surgical interventions, critical analysis and final approval of the article;
 I.L. Andreytsev: robot-assisted surgical interventions, development and standardization of the surgical technique, analysis of the clinical results, preparation of the “Materials and Methods” and “Surgical Technique” sections;
 M.M. Tavobilov: surgical interventions, clinical management of the patients, analysis of complications, participation in interpretation of the results;
 A.A. Karpov: robot-assisted surgical interventions, collection and systematization of clinical data, participation in interpretation of the study results;
 A.V. Lantsynova: clinical observation and patient management in the postoperative period, collection of the data on postoperative complications, participation in the “Results” section preparation;
 M.N. Aladin: assistance in robot-assisted surgical interventions; data collection, processing and statistical analysis, participation in interpretation of the results, preparation of the “Results” and “Discussion” sections, writing and editing of the manuscript;
 E.B. Kudryash: assistance in surgical interventions, search and analysis of scientific literature on the topic of the article, participation in the “Discussion” section preparation, manuscript editing;
 K.A. Abramov: participation in study design development, methodological support, analysis of oncological and surgical outcomes, manuscript editing.

ORCID авторов | ORCID of authors

А.В. Шабунин / A.V. Shabunin: <https://orcid.org/0000-0002-4230-8033>
 И.Л. Андрейцев / I.L. Andreytsev: <https://orcid.org/0000-0002-6756-9555>
 М.М. Тавобилов / M.M. Tavobilov: <https://orcid.org/0000-0003-0335-1204>
 А.А. Карпов / A.A. Karpov: <https://orcid.org/0000-0002-5142-1302>
 А.В. Ланцынова / A.V. Lantsynova: <https://orcid.org/0000-0002-9461-6791>
 М.Н. Аладин / M.N. Aladin: <https://orcid.org/0000-0001-9671-390X>
 Е.Б. Кудряш / E.B. Kudryash: <https://orcid.org/0000-0002-7870-808X>
 К.А. Абрамов / K.A. Abramov: <https://orcid.org/0000-0001-9871-114X>

Конфликт интересов | Conflict of interest

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
 The authors declare no conflict of interest.

Финансирование | Funding

Работа выполнена без спонсорской поддержки.
 The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов | Compliance with patient rights

Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.

All patients gave written informed consent to participate in this study.

Статья поступила: | Article submitted: 01.10.2025.
Принята к публикации: | Accepted for publication: 11.10.2025.
Рецензия: | Peer reviewed: 05.11.2025 и 16.11.2025.
Опубликована онлайн: | Published online: 20.02.2026.

Флюоресцентная навигация с применением индоцианина зеленого при робот-ассистированной радикальной простатэктомии: обзор литературы

Г.А. Монастырный^{1,2}, А.О. Васильев¹⁻³, А.В. Говоров^{1,2}, К.Б. Колонтарев^{1,2}, В.В. Дьяков^{1,2},
Д.Ю. Пушкар^{1,2}

Контакты:

Генрих Аркадьевич
Монастырный
genrix1000@gmail.com

¹ГБУЗ «Московский многопрофильный научно-клинический центр им. С.П. Боткина Департамента здравоохранения г. Москвы»; Россия, 125284 Москва, 2-й Боткинский проезд, 5

²Кафедра урологии ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России; Россия, 127473 Москва, ул. Делегатская, 20, стр. 1

³ГБУ «Научно-исследовательский институт организации здравоохранения и медицинского менеджмента Департамента здравоохранения г. Москвы»; Россия, 115088 Москва, ул. Шарикоподшипниковская, 9

Цель исследования – проанализировать современные данные о применении флюоресцентной навигации с использованием индоцианина зеленого (ИЦЗ) во время робот-ассистированной радикальной простатэктомии (РАРПЭ) и оценить ее влияние на точность и безопасность хирургического вмешательства.

Материалы и методы. Проведен поиск публикаций в международных базах данных (PubMed, Scopus, Web of Science) за 2010–2025 гг. по ключевым словам: indocyanine green, ICG, radical prostatectomy, robot-assisted prostatectomy, lymphadenectomy, fluorescence-guided surgery. В обзор включено 27 публикаций, из них 8 систематических обзоров, 15 клинических и 4 экспериментальных исследования. Поиск завершен в мае 2025 г.

Результаты. Использование ИЦЗ при выполнении РАРПЭ способствует улучшению интраоперационной визуализации лимфатических узлов, сосудисто-нервных пучков и дорсального венозного комплекса, что позволяет повысить точность лимфаденэктомии и снизить риск повреждения анатомически значимых структур. По данным большинства исследований, применение ИЦЗ сокращает длительность операции, объем кровопотери и увеличивает долю нервосберегающих вмешательств без увеличения частоты положительного статуса хирургического края. Однако остаются нерешенными вопросы о стандартизации дозы и способа введения красителя, а также о необходимости подтверждения эффективности метода в крупных рандомизированных исследованиях.

Заключение. Флюоресцентная навигация с использованием ИЦЗ является перспективным направлением развития интраоперационной визуализации при РАРПЭ, способствующим повышению безопасности и качества хирургического вмешательства. Для внедрения метода в повседневную клиническую практику требуется дальнейшая оптимизация протоколов и проведение многоцентровых клинических исследований высокого уровня доказательности.

Ключевые слова: индоцианин зеленый, флюоресцентная навигация, робот-ассистированная радикальная простатэктомия, рак предстательной железы

Для цитирования: Монастырный Г.А., Васильев А.О., Говоров А.В. и др. Флюоресцентная навигация с применением индоцианина зеленого при робот-ассистированной радикальной простатэктомии: обзор литературы. Медицинская робототехника 2025;1(Спецвыпуск):43–9.

DOI: <https://doi.org/10.63769/3033-6392-2025-1-1-43-49>

Indocyanine green fluorescence navigation in robot-assisted radical prostatectomy: a literature review

G.A. Monastyrny^{1,2}, A.O. Vasilyev¹⁻³, A.V. Govorov^{1,2}, K.B. Kolontarev^{1,2}, V.V. Dyakov^{1,2}, D.Yu. Pushkar^{1,2}

¹S.P. Botkin Moscow Multidisciplinary Scientific and Clinical Center, Moscow Healthcare Department; 5 2nd Botkinsky Drive, Moscow 125284, Russia

²Department of Urology, Russian University of Medicine, Ministry of Health of Russia; 20–1 Delegatskaya St., Moscow 127473, Russia

³Research Institute for Healthcare Organization and Medical Management, Moscow Healthcare Department; 9 Sharikopodshipnikovskaya St., Moscow 115088, Russia

Contacts: Genrikh Arkadyevich Monastyrny genrix1000@gmail.com

The aim of the study is to analyze current evidence on the use of fluorescence-guided navigation with indocyanine green (ICG) during robot-assisted radical prostatectomy (RARP) and to assess its impact on surgical accuracy and patient safety.

Materials and methods. A literature review was conducted using the PubMed, Scopus, and Web of Science databases for the period 2010–2025. The search included the following key terms: indocyanine green, ICG, radical prostatectomy, robot-assisted prostatectomy, lymphadenectomy, fluorescence-guided surgery. Systematic reviews, prospective, and retrospective studies evaluating the application of ICG in RARP were analyzed. **Results.** The use of ICG during RARP improves intraoperative visualization of lymph nodes, neurovascular bundles, and the dorsal venous complex, thereby enhancing the accuracy of lymphadenectomy and reducing the risk of injury to critical anatomical structures. Most studies demonstrate that ICG application shortens operative time, decreases blood loss, and increases the rate of nerve-sparing procedures without raising the incidence of positive surgical margins. However, standardization of the ICG dosage and administration protocol remains lacking, and further large-scale randomized trials are required to confirm its efficacy and reproducibility.

Conclusion. Fluorescence-guided surgery using indocyanine green represents a promising approach for intraoperative visualization during RARP, improving the precision and safety of surgical interventions. Further research is needed to optimize administration protocols and validate the method through multicenter clinical trials with high levels of evidence.

Keywords: indocyanine green, fluorescence-guided surgery, robot-assisted radical prostatectomy, prostate cancer

For citation: Monastyrny G.A., Vasilyev A.O., Govorov A.V. et al. Indocyanine green fluorescence navigation in robot-assisted radical prostatectomy: a literature review. *Meditinskaya robototekhnika = Journal of Medical Robotics* 2025;1(Special issue):43–9. (In Russ.)

DOI: <https://doi.org/10.63769/3033-6392-2025-1-1-43-49>

ВВЕДЕНИЕ

Рак предстательной железы (РПЖ) — одно из наиболее распространенных среди мужчин онкологических заболеваний, которое занимает 2-е место по уровню смертности от злокачественных новообразований в развитых странах. По данным Всемирной организации здравоохранения, ежегодно регистрируется свыше 1,4 млн новых случаев РПЖ, что подчеркивает его высокую значимость для современной урологии и онкологии [1].

В последние годы в Российской Федерации наблюдается устойчивая тенденция к росту заболеваемости РПЖ. По экспертным данным, в 2023 г. было зарегистрировано более 58 тыс. новых случаев данного заболевания, что выводит РПЖ на 1-е место в структуре онкологической заболеваемости мужчин [2, 3]. По сравнению с предыдущими годами отмечается выраженный прирост заболеваемости: за пятилетний период (2019–2023 гг.) число впервые диагностированных случаев увеличилось приблизительно на 28,6 %, что отражает как демографические изменения, так и улучшение диагностики заболевания [4].

По состоянию на 2024 г. в Российской Федерации на диспансерном учете находилось около 344 тыс. пациентов с подтвержденным диагнозом РПЖ, при этом приблизительно 12 тыс. новых случаев (около 18 %) были выявлены на IV стадии заболевания [2]. Рост числа больных отражает как реальное увеличение распространенности РПЖ, так и совершенствование методов диагностики, улучшение охвата скрининговыми программами и повышение качества статистического

учета. Тем не менее доля случаев, выявляемых на поздних стадиях, остается значительной, что подчеркивает необходимость дальнейшего развития программ раннего выявления и оптимизации маршрутизации пациентов.

Одна из основных проблем диагностики РПЖ — точное выявление метастазов в лимфатических узлах, поскольку их наличие существенно ухудшает прогноз заболевания. Лимфаденэктомия, осуществляемая в ходе робот-ассистированной радикальной простатэктомии (РАРПЭ), считается наиболее надежным методом установления стадии во время хирургического лечения пациентов с высоким риском метастатического поражения лимфатических узлов [5, 6]. Однако эта процедура сопряжена со значительными техническими трудностями, увеличением продолжительности операции, а также высоким риском последующих осложнений, включая лимфоцеле, кровотечения и тромбоэмболические события [7].

В последние годы активно развиваются методы интраоперационной визуализации, позволяющие сделать вмешательство более точным и снизить риск нежелательных последствий. Одним из наиболее перспективных подходов является флюоресцентная визуализация с использованием индоцианина зеленого (ИЦЗ), позволяющая в режиме реального времени визуализировать лимфатические узлы и сосудистые структуры [8–10].

Цель настоящего обзора — проанализировать современные данные об использовании флюоресцентной визуализации с ИЦЗ при радикальной простатэктомии,

а также оценить ее эффективность и перспективы широкого внедрения в клиническую практику.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведен поиск статей в основных международных научных базах (PubMed, Scopus, Web of Science) за 2010–2025 гг. по ключевым словам: indocyanine green, ICG, radical prostatectomy, robot-assisted prostatectomy, lymphadenectomy, fluorescence-guided surgery. Отбирались публикации на английском языке.

Общая характеристика индоцианина зеленого

Индоцианин зеленый — это водорастворимый флуоресцентный краситель, одобренный для медицинского применения. Он имеет молекулярную формулу $C_{43}H_{47}N_2NaO_6S_2$ и молекулярную массу около 774,99 г/моль. После внутривенного введения ИЦЗ быстро связывается с белками плазмы и экскретируется печенью с желчью без метаболических изменений, что определяет его благоприятный профиль безопасности [10, 11]. ИЦЗ поглощает свет с длиной волны около 800 нм и флуоресцирует с пиком эмиссии примерно на 820–835 нм. Использование данного диапазона длин волн обеспечивает более глубокое проникновение излучения в ткани и меньшее рассеяние по сравнению с видимым спектром, что делает ИЦЗ оптимальным контрастным агентом для интраоперационной визуализации [12, 13]. Эти физико-химические свойства обусловили широкое применение ИЦЗ в различных областях хирургии, включая урологию.

Принципы использования индоцианина зеленого при оперативном пособии

Основной механизм флуоресцентной навигации с применением ИЦЗ основан на способности красителя избирательно накапливаться в определенных тканях или органах и флуоресцировать при облучении светом необходимой длины волны. Это дает возможность визуализировать структуры, невидимые невооруженным глазом, и выполнять операции с более высокой точностью [14]. ИЦЗ быстро связывается с белками плазмы крови и остается в сосудистом русле, что позволяет визуализировать кровоток и сосудистую анатомию в реальном времени. Это особенно полезно при операциях на почках и других органах мочеполовой системы, когда сохранение достаточного кровоснабжения имеет принципиальное значение для функционального исхода [15]. Использование ИЦЗ позволяет оценить перфузию тканей и органов, что важно при реконструктивных операциях и трансплантации. Так, низкая перфузия может привести к ишемии и некрозу тканей, поэтому своевременная оценка интенсивности кровоснабжения критична для успешного исхода операции [16].

Применение индоцианина зеленого в ходе радикальной простатэктомии

В последние годы флуоресцентная визуализация с использованием ИЦЗ активно изучается в онкоурологии, в частности при выполнении РАРПЭ. В настоящем разделе (см. таблицу) приведены основные примеры использования ИЦЗ в ходе различных этапов оперативного лечения.

Идентификация лимфатических узлов. Лимфаденэктомия является важным этапом робот-ассистированной радикальной простатэктомии, позволяющим оценить стадию заболевания и определить необходимость адъювантной терапии [10]. Согласно рекомендациям Европейской ассоциации урологов (European Association of Urology), расширенная тазовая лимфаденэктомия должна выполняться у пациентов с промежуточным и высоким риском метастатического поражения лимфатических узлов [17].

Однако, несмотря на важность проведения этого этапа, лимфаденэктомия связана с рядом проблем. Во-первых, это сложная и трудоемкая процедура, требующая высокой квалификации хирурга. Во-вторых, выполнение лимфаденэктомии увеличивает длительность операции, риск осложнений, таких как лимфорея и лимфоцеле, и риск послеоперационных инфекционных процессов [5]. Кроме того, пока не существует доказательств высшего уровня, подтверждающих влияние лимфаденэктомии на улучшение общей выживаемости при РПЖ [6].

Основная цель применения ИЦЗ — улучшение визуализации лимфатических узлов и сосудов, что позволяет более точно выполнить лимфаденэктомию и снизить риск осложнений [7]. Ряд исследований показал, что использование ИЦЗ улучшает идентификацию лимфатических узлов и уменьшает количество пропущенных микрометастазов [16]. Кроме того, ИЦЗ может быть использован для визуализации сосудистых структур, что особенно важно при выполнении робот-ассистированной радикальной простатэктомии [18]. Но, несмотря на положительные результаты, применение ИЦЗ при радикальной простатэктомии остается ограниченным. Основными проблемами являются отсутствие стандартизированных протоколов введения ИЦЗ и недостаточное количество крупных рандомизированных исследований, подтверждающих его эффективность [8].

Идентификация и сохранение сосудисто-нервных пучков. При РАРПЭ сохранение эректильной функции рассматривается как важный аспект лечения. Использование ИЦЗ позволяет визуализировать сосудисто-нервные пучки и сохранить их целостность [10]. Традиционная нервосберегающая простатэктомия требует тщательного выделения сосудисто-нервных пучков, однако визуально провести четкую грань между

Таблица 1 | Table 1

Сравнение результатов исследований по оценке эффективности интраоперационной визуализации с введением индоцианина зеленого
 Comparison of the results of studies on the efficacy of intraoperative visualization with indocyanine green

Год публикации Year of publication	Авторы Authors	Цель исследования Aim of the study	Методология Methods	Основные результаты Main results	Число пациентов Number of patients	Критерии включения в исследование Inclusion criteria
2014	Manny T.B. и соавт. [8] Manny T.B. et al. [8]	Оценка осуществимости флуоресцентной диагностики во время РАРП с лимфангиографией и маркировкой тканей с использованием ИЦЗ Evaluation of feasibility of fluorescent diagnostics during RARP with lymphangiography and tissue staining with ICG	Серия случаев; инъекция ИЦЗ (перкутанно/под контролем робота) с визуализацией в ближнем инфракрасном диапазоне при РАРП; оценка лимфатического оттока/маркировки Case series; ICG injection (percutaneously/under robotic control) with visualization in near infrared range during RARP; evaluation of lymphatic outflow/staining	Тканевая маркировка достигнута у всех; визуализирована лимфатическая сеть и «сторожевой лимфоузел»; метод технически выполним и безопасен Tissue staining was achieved in all cases; the lymphatic network and sentinel lymph node were visualized; the technique is technically feasible and safe	50	РПЖ, показания к РАРП; первичный опыт (критерии включения зависят от протокола центра) PCa, RARP; primary experience (inclusion criteria depend on the center's protocol)
2018	Harke N.N. и соавт. [9] Harke N.N. et al. [9]	Сравнить эффективность ТЛАЭ с применением ИЦЗ-визуализации и стандартной ТЛАЭ при РАРП Comparison of PLND with ICG visualization and standard PLND during RARP	Проспективное рандомизированное исследование; трансректальная инъекция ИЦЗ в простату перед докингом роботической системы; ТЛАЭ + удаление флуоресцирующих ЛУ Prospective randomized study; transrectal ICG injection into the prostate prior to robotic system docking; PLND + resection of fluorescent LNs	Больше удаленных ЛУ при ИЦЗ (медиана 25 vs 17); чувствительность 78 % (pN+); 27 из 62 метастатических ЛУ были флуоресцирующими; частота осложнений сопоставима More resected LNs with ICG (median 25 vs 17); sensitivity 78 % (pN+); 27 of 62 metastatic LNs were fluorescent; complication rates are similar	118 (рандомизированы 120, выбыли 2) 118 (120 randomized, 2 dropped out)	Промежуточный или высокий риск РПЖ; показания к ТЛАЭ Intermediate or high risk PCa; indications for PLND
2022	Amara N. и соавт. [19] Amara N. et al. [19]	Оценить эффективность ИЦЗ-усиленной ангиографии для улучшения анатомической диссекции и сохранения эректильной функции Evaluation of the efficacy of ICG-guided angiography for improvement of anatomical dissection and preservation of erectile function	Ретроспективное одноцентровое исследование; внутривенная инъекция ИЦЗ (3 мл) на этапе выделения; режим визуализации в ближнем инфракрасном диапазоне для микродиссекции Retrospective single-center study; intravenous injection of ICG (3 mL) at the stage of selection; visualization in near infrared range for microdissection	Сторожевой ЛУ идентифицирован у всех; осложнений, связанных с введением ИЦЗ, не отмечено Sentinel LN was identified in all patients; no complications associated with ICG injection	91	Локализованный РПЖ (T1–T2), уровень простатического специфического антигена <10 нг/мл; РАРП Localized PCa (T1–T2), prostate-specific antigen level <10 ng/mL; RARP
2022	Claps F. и соавт. [20] Claps F. et al. [20]	Оценить диагностическую точность ИЦЗ-усиленной навигации при ТЛАЭ Evaluation of diagnostic accuracy of ICG-guided navigation during PLND	Проспективное одноцентровое; ИЦЗ-усиленная навигация + подтверждающая ТЛАЭ при РАРП Prospective single-center study; ICS-guided navigation + confirmatory PLND during RARP	Специфичность 97,7 %, чувствительность 91,4 %, нежелательных явлений не зарегистрировано Specificity 97.9 %, sensitivity 91.4 %, no adverse events reported	219	Клинически локализованный РПЖ; показания к ТЛАЭ или стадированию Clinically localized PCa; indications for PLND or staging

Окончание таблицы 1

End of table 1

Год публикации Year of publication	Авторы Authors	Цель исследования Aim of the study	Методология Methods	Основные результаты Main results	Число пациентов Number of patients	Критерии включения в исследование Inclusion criteria
2023	Özkan A. и соавт. [21] Özkan A. et al. [21]	Оценить влияние инъекции ИЦЗ в простату на результаты ТЛАЭ при РАРПЭ Evaluation of the effect of ICG injection into the prostate on the results of PLND during RARP	Сравнительное исследование; инъекция ИЦЗ во время установки портов; сначала удаление флюоресцирующих ЛУ, затем завершение ТЛАЭ Comparative study; ICG injection during port placement; first, fluorescent LN resection, then completion of RARP	В группе ИЦЗ: 509 ЛУ, из них 122 (23,9 %) флюоресцирующих; 20 метастатических ЛУ, из них 9 (45 %) флюоресцирующих; 8 из 9 пациентов с pN+ имели флюоресцирующие ЛУ In the ICG group: 509 LNs, among them 122 (23.9 %) fluorescent; 20 metastatic LNs, among them 9 (45 %) fluorescent; 8 of 9 patients with pN+ had fluorescent LNs	50 (25 + 25)	РПЖ, проведенная ТЛАЭ при РАРПЭ (2019–2021) PCa, PLND during RARP (2019–2021)

Примечание: ИЦЗ – индоцианин зеленый, ЛУ – лимфатические узлы, РАРПЭ – робот-ассистированная радикальная простатэктомия, РПЖ – рак предстательной железы, ТЛАЭ – тазовая лимфаденэктомия.

Note: ICG – indocyanine green, LNs – lymph nodes, RARP – robot-assisted radical prostatectomy, PCa – prostate cancer, PLND – pelvic lymph node dissection.

здоровыми тканями и опухолью или фиброзом бывает сложно. Интраоперационное введение ИЦЗ с последующей флюоресцентной визуализацией (с использованием специальной оптики) позволяет четко увидеть перипростатические сосудистые структуры и ход нервов, что снижает риск их повреждения [22]. В ряде клинических серий и пилотных исследований показано, что использование ИЦЗ при нервосберегающей РАРПЭ ассоциировано с увеличением доли выполненных нервосберегающих вмешательств без статистически значимого увеличения частоты положительного статуса хирургического края, однако данные остаются ограниченными и требуют подтверждения в проспективных исследованиях [19].

Идентификация дорсального венозного комплекса. Интраоперационная визуализация сосудистой анатомии с применением ИЦЗ может быть использована для более точной идентификации дорсального венозного комплекса во время радикальной простатэктомии. Флюоресцентная ангиография позволяет детализировать венозный отток и улучшить контроль гемостаза на этапе пересечения дорсального венозного комплекса, что потенциально способствует снижению интраоперационной кровопотери [23].

Следует отметить, что данные о применении ИЦЗ для целенаправленной идентификации дорсального венозного комплекса получены преимущественно на ограниченных сериях клинических случаев, и в настоящее время отсутствуют рандомизированные

исследования, подтверждающие преимущества данного подхода [24].

Перспективы применения флюоресцентной навигации с индоцианином зеленым в урологии

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку стандартизированных протоколов введения ИЦЗ, оценку его эффективности в рамках крупных проспективных и рандомизированных исследований, а также изучение применения ИЦЗ в комбинации с другими методами визуализации [25].

Кроме того, перспективным направлением является разработка новых флюорофоров с улучшенными оптическими характеристиками, включая более высокую интенсивность флюоресценции и пролонгированное время циркуляции, что потенциально может повысить точность хирургических манипуляций и снизить риск интраоперационных осложнений [26].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Флюоресцентная диагностика с использованием ИЦЗ рассматривается как перспективный метод интраоперационной визуализации, который может значительно улучшить точность и безопасность радикальной простатэктомии. Несмотря на положительные результаты, применение ИЦЗ при РПЖ требует дальнейшего изучения и оптимизации. Внедрение флюоресцентной визуализации с использованием ИЦЗ при РАРПЭ помогает улучшить визуальный контроль

над сосудисто-нервными пучками, снижает риски повреждения анатомических структур, что способствует более быстрому восстановлению функциональных показателей, сокращает количество послеоперационных койко-дней. Данная методика пока не внедрена

в широкую клиническую практику, но результаты исследований указывают на высокую клиническую значимость и перспективность использования ИЦЗ для повышения качества хирургических вмешательств в урологии.

Литература | References

1. Sung H., Ferlay J., Siegel R.L. et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J Clin* 2021;71(3): 209–49. DOI: 10.3322/caac.21660
2. Состояние онкологической помощи населению России в 2023 году. Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена, 2024. Cancer care to the population of Russia in 2023. Ed. by A.D. Kaprin, V.V. Starinsky, A.O. Shakhzadova. Moscow: P. Herzen Moscow Oncology Research Institute, 2024. (In Russ.)
3. Злокачественные новообразования в России в 2023 году (заболеваемость и смертность). Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. М., 2024. Malignant tumors in Russia in 2023 (morbidity and mortality). Ed. by A.D. Kaprin, V.V. Starinsky, A.O. Shakhzadova. Moscow, 2024. (In Russ.)
4. Золотарев Н.Ю., Старинский В.В., Шахзадова А.О., Грецова О.П. Динамика основных показателей медицинской помощи населению Российской Федерации за 1993–2023 гг. по профилю «Онкология». *Онкология. Журнал им. П.А. Герцена* 2025;14(3):71–7. DOI: 10.17116/onkolog20251403171 Zolotarev N.Yu., Starinsky V.V., Shakhzadova A.O., Gretsova O.P. Dynamics of the main indicators of medical care to the population of the Russian Federation for the period 1993–2023 in the “Oncology” profile. *Onkologiya. Zhurnal im. P.A. Gertsena* = P.A. Herzen Journal of Oncology 2025;14(3):71–7. (In Russ.)
5. EAU Guidelines on Prostate Cancer. URL: <https://uroweb.org/guidelines/prostate-cancer>
6. Briganti A., Chun F.K., Salonia A. et al. Complications and other surgical outcomes associated with extended pelvic lymphadenectomy in men with localized prostate cancer. *Eur Urol* 2006;50(5):1006–13. DOI: 10.1016/j.eururo.2006.08.015
7. Fossati N., Willemse P.M., Van den Broeck T. et al. The benefits and harms of different extents of lymph node dissection during radical prostatectomy for prostate cancer: a systematic review. *Eur Urol* 2017;72(1):84–109. DOI: 10.1016/j.eururo.2016.12.003
8. Manny T.B., Patel M., Hemal A.K. Fluorescence-enhanced robotic radical prostatectomy using real-time lymphangiography and tissue marking with percutaneous injection of unconjugated indocyanine green: the initial clinical experience in 50 patients. *Eur Urol* 2014;65(6):1162–8. DOI: 10.1016/j.eururo.2013.11.017
9. Harke N.N., Godes M., Wagner C. et al. Fluorescence-supported lymphography and extended pelvic lymph node dissection in robot-assisted radical prostatectomy: a prospective, randomized trial. *World J Urol* 2018;36(11):1817–23. DOI: 10.1007/s00345-018-2330-7
10. Cacciamani G.E., Shakir A., Tafuri A. et al. Best practices in near-infrared fluorescence imaging with indocyanine green (NIRF/ICG)-guided robotic urologic surgery: a systematic review-based expert consensus. *World J Urol* 2020;38(4):883–96. DOI: 10.1007/s00345-019-02870-z
11. Desmettre T., Devoisselle J.M., Mordon S. Fluorescence properties and metabolic features of indocyanine green (ICG) as related to angiography. *Surv Ophthalmol* 2000;45(1):15–27. DOI: 10.1016/S0039-6257(00)00123-5
12. Landsman M.L., Kwant G., Mook G.A., Zijlstra W.G. Light-absorbing properties, stability, and spectral stabilization of indocyanine green. *J Appl Physiol* 1976;40(4):575–83. DOI: 10.1152/jappl.1976.40.4.575
13. Saxena V., Sadoqi M., Shao J. Degradation kinetics of indocyanine green in aqueous solution. *J Pharm Sci* 2003;92(10):2090–7. DOI: 10.1002/jps.10470
14. Van Manen L., Handgraaf H.J.M., Diana M. et al. A practical guide for the use of indocyanine green and methylene blue in fluorescence-guided abdominal surgery. *J Surg Oncol* 2018;118(2):283–300. DOI: 10.1002/jso.25195
15. Dip F., Boni L., Bouvet M. et al. Consensus conference statement on the general use of near-infrared fluorescence imaging and indocyanine green guided surgery: results of a modified Delphi study. *Ann Surg* 2022;275(4):685–91. DOI: 10.1097/SLA.0000000000004412
16. Boni L., David G., Mangano A. et al. Clinical applications of indocyanine green (ICG) enhanced fluorescence in laparoscopic surgery. *Surg Endosc* 2015;29(7):2046–55. DOI: 10.1007/s00464-014-3895-x
17. Heidenreich A. Still Unanswered: The Role of Extended Pelvic Lymphadenectomy in Improving Oncological Outcomes in Prostate Cancer. *Eur Urol* 2021;79(5):605–6. DOI: 10.1016/j.eururo.2021.01.033
18. Ramírez-Backhaus M., Mira Moreno A., Gómez Ferrer A. et al. Indocyanine green guided pelvic lymph node dissection: an efficient technique to classify the lymph node status of patients with prostate cancer who underwent radical prostatectomy. *J Urol* 2016;196(5):1429–35. DOI: 10.1016/j.juro.2016.05.087
19. Amara N., Al Youssef T., Massa J. et al. Intraoperative angiography of the neurovascular bundle using indocyanine green and near-infrared fluorescence improves anatomical dissection during robot-assisted radical prostatectomy: initial clinical experience. *J Robot Surg* 2023;17(2):687–94. DOI: 10.1007/s11701-022-01483-w
20. Claps F., de Pablos-Rodríguez P., Gómez-Ferrer Á. et al. Free-indocyanine green-guided pelvic lymph node dissection during radical prostatectomy. *Urol Oncol* 2022;40(11):489.e19–26. DOI: 10.1016/j.urolonc.2022.08.005
21. Özkan A., Köseoğlu E., Canda A.E. et al. Fluorescence-guided extended pelvic lymphadenectomy during robotic radical prostatectomy. *J Robot Surg* 2023;17(3):885–90. DOI: 10.1007/s11701-022-01480-z
22. Mangano M.S., De Gobbi A., Beniamin F. et al. Robot-assisted nerve-sparing radical prostatectomy using near-infrared fluorescence technology and indocyanine green: initial experience. *Urologia* 2018;85(1):29–31. DOI: 10.5301/uj.5000244

23. Hasan O., Reed A., Shahait M. et al. Fluorescence-guided radical prostatectomy. *Int Urol Nephrol* 2022;54(11):2775–81. DOI: 10.1007/s11255-022-03307-0
24. Boni L., David G., Dionigi G. et al. Indocyanine green-enhanced fluorescence to assess bowel perfusion during laparoscopic colorectal resection. *Surg Endosc* 2016;30(7):2736–42. DOI: 10.1007/s00464-015-4540-z
25. Van Dam M.A., Bijlstra O.D., Faber R.A. et al. Consensus conference statement on fluorescence-guided surgery (FGS) ESSO course on fluorescence-guided surgery. *Eur J Surg Oncol* 2024;50(2):107317. DOI: 10.1016/j.ejso.2023.107317
26. Weissleder R., Nahrendorf M. Advancing biomedical imaging. *Proc Natl Acad Sci USA* 2015;112(47):14424–8. DOI: 10.1073/pnas.1500527112

Вклад авторов | Authors' contributions

Г.А. Монастырный: разработка концепции и дизайна исследования, сбор и анализ данных, статистическая обработка результатов, подготовка рукописи статьи;
 А.О. Васильев: участие в сборе материала, анализ данных, подготовка отдельных разделов рукописи, редактирование текста;
 А.В. Говоров: методологическое сопровождение исследования, интерпретация результатов, критический пересмотр рукописи с точки зрения научного содержания;
 К.Б. Колонтарев: участие в планировании исследования, анализ полученных данных, редактирование рукописи;
 В.В. Дьяков: консультативная поддержка, участие в интерпретации результатов исследования, критический анализ текста статьи;
 Д.Ю. Пушкар: научное руководство исследованием, формирование общей концепции работы, окончательное утверждение версии рукописи для публикации.
 G.A. Monastyrny: development of the research concept and design, data collection and analysis, statistical processing of results, writing the article;
 A.O. Vasilyev: participation in the collection of material, data analysis, preparation of sections of the article, text editing;
 A.V. Govorov: methodological support of the research, interpretation of the results, critical revision of the article;
 K.B. Kolontarev: participation in research planning, analysis of the data obtained, editing of the article;
 V.V. Dyakov: advisory support, participation in the interpretation of research results, critical analysis of the text of the article;
 D.Yu. Pushkar: scientific guidance of the research, formation of the general concept of the work, final approval of the article for publication.

ORCID авторов | ORCID of authors

Г.А. Монастырный / G.A. Monastyrny: <https://orcid.org/0000-0002-7898-2054>
 А.О. Васильев / A.O. Vasilyev: <https://orcid.org/0000-0001-5468-0011>
 А.В. Говоров / A.V. Govorov: <https://orcid.org/0000-0003-3299-0574>
 К.Б. Колонтарев / K.B. Kolontarev: <https://orcid.org/0000-0003-4511-5998>
 В.В. Дьяков / V.V. Dyakov: <https://orcid.org/0009-0008-2961-1688>
 Д.Ю. Пушкар / D.Yu. Pushkar: <https://orcid.org/0000-0002-6096-5723>

Конфликт интересов | Conflict of interest

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
 The authors declare no conflict of interest.

Финансирование | Funding

Работа выполнена без спонсорской поддержки.
 The study was performed without external funding.

Статья поступила: | Article submitted: 02.10.2025.
 Принята к публикации: | Accepted for publication: 17.10.2025.
 Рецензия: | Peer reviewed: 05.11.2025.
 Опубликовано онлайн: | Published online: 20.02.2026.

Робот-ассистированная хирургия: прошлое, настоящее и будущее

Robot-assisted surgery: past, present and future

На протяжении веков человечество стремилось облегчить физический труд, увеличить производительность, усовершенствовать орудия производства. Процесс не был быстрым и легким: от каменных скребков до колеса, от простейших механизмов до космических кораблей – дистанция в тысячелетия. И с каждым новым открытием появляются новые горизонты, еще недавно казавшиеся плодом воображения фантастов.

For centuries, mankind has sought to facilitate physical labor, increase productivity, and improve production tools. The process was not quick and easy: from stone scrapers to a wheel, from the simplest mechanisms to spaceships – a distance of millennia. And with each new discovery, new horizons appear, which until recently seemed like a figment of the imagination of science fiction writers.

Сегодня человечество переживает эру «информационного возраста», при котором все новейшие технологические «чудеса» максимально быстро внедряются в повседневную жизнь.

В эпоху телекоммуникаций и компьютерных технологий произошли серьезные изменения во всех аспектах профессиональной и бытовой жизнедеятельности. Новейшие концепции автоматизированных и роботических решений нашли свое применение во многих отраслях промышленности. С недавнего времени роботы в медицине в целом и в хирургии в частности стали неотъемлемой частью врачебной практики.

По данным Американского института по изучению роботической техники (The Robot Institute of America), робот представляет собой репрограммируемый мультифункциональный манипулятор, предназначенный для перемещения/передвижения материалов, предметов, их частей или иных специализированных устройств с целью выполнения различных задач. В словаре Вебстера (Websters' English Dictionary) робот определяется как «автономный аппарат или устройство, которое осуществляет различные действия, свойственные человеку, и выполняет их как будто под контролем человеческого разума». Вышеуказанные определения робота объединяют три основных способности робота: выполнять определенные действия, решать различные задачи на запрограммированной основе, а также интерпретировать и модифицировать ответы на команды оператора.

ПРОШЛОЕ

Великий итальянский ученый, анатом, естествоиспытатель, художник и архитектор Леонардо да Винчи (1452–1519) создал несколько так называемых манекенов, способных выполнять запрограммированные действия. В его коллекции нашлось место механическим птице и льву, способному ходить, подниматься



Автопортрет Леонардо да Винчи (1452–1519)
Self-portrait of Leonardo da Vinci (1452–1519)

¹ URL: <https://www.wga.hu/frames-e.html?/html/l/%2Fleonardo%2F08heads%2F12selfpo.html>



Робот Леонардо. Реконструкция по схемам Леонардо да Винчи²
Leonardo's robot. Reconstruction according to Leonardo da Vinci's schemes²



Карел Чапек (1890–1938), придумавший слово «робот»³
Karel Čapek (1890–1938), who coined the word "robot"³

на задние лапы и даже преподнести букет лилий королю Франции. Однако самым интересным экспонатом стал созданный в 1495 г. механический манекен в форме вооруженного рыцаря, получивший название «робот Леонардо».

Однако в современной истории впервые слово «робот» применил чешский писатель Карел Чапек в своей научно-популярной пьесе «R. U. R.» в 1923 г. Слово «робот» происходит от чешского слова *robota*, обозначающего тяжелый физический труд.

Знаменитый фантаст Айзек Азимов в романе «Хоровод» в 1942 г. предложил слово «робототехника» и сформулировал так называемые законы робототехники, которые стали непреложными для многих писателей:

1. Робот не может причинить вред человеку или своим бездействием допустить, чтобы человеку был причинен вред.
2. Робот должен повиноваться всем приказам, которые дает человек, кроме тех случаев, когда эти приказы противоречат Первому Закону.
3. Робот должен заботиться о своей безопасности в той мере, в которой это не противоречит Первому или Второму Закону.



Айзек Азимов (1920–1992), автор «трех законов робототехники»⁴
Isaac Asimov (1920–1992), author of the Three Laws of Robotics⁴

² URL: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Leonardo%27s_robot&utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera

³ URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Portal:The_arts/Selected_quote/19?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera

Позже автор добавил еще один закон, назвав его Нулевым, который гласил, что робот должен действовать в интересах всего человечества, а не только отдельного человека.

К настоящему времени роботизированные технологии приобретают все большую популярность в медицинской отрасли. Многочисленные роботические системы были предложены для помощи инвалидам и пожилым людям. Автоматические программируемые инвалидные кресла облегчают жизнь пациентам с частичной или полной утратой способности к передвижению.

Существует целый ряд роботических решений для применения в системе здравоохранения без непосредственного контакта с пациентами. Роботизированные лабораторные комплексы способны обеспечить бесперебойное функционирование многопрофильного учреждения с минимальной затратой человеческих ресурсов, что, несомненно, является экономически выгодным.

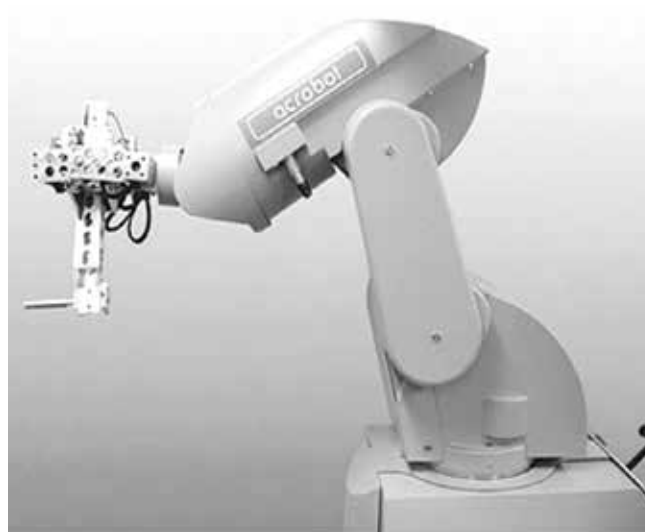
История развития хирургических роботических систем начинается с использования в 1985 г. в нейрохирургической операции системы PUMA-560 для выполнения точной биопсии головного мозга под компьютерно-томографическим наведением.

В 1988 г. для выполнения автоматизированной трансуретральной резекции предстательной железы была разработана роботическая система Probot. В том же году была выполнена первая резекция. Для этого в предоперационном периоде была сконструирована 3D-модель предстательной железы, края резекции были очерчены хирургом, а траектории движения резектоскопа рассчитаны роботической системой.

Robodoc (IBM) стал первой роботической системой для применения в ортопедии при протезировании тазобедренных суставов. В последующем появлялись усовершенствованные модели, обладающие способностью в автоматическом режиме выполнять необходимые манипуляции для завершения процедуры замещения тазобедренного сустава (Caspar system, Acrobot).

К 1995 г. была разработана нейрохирургическая роботическая система Minerva, использующая данные динамической компьютерной томографии, что позволяло вносить коррективы в ход процедуры в режиме реального времени.

В 1994 г. компания Computer Motion изготовила первого робота-хирурга, получившего сертификат US FDA — Automated Endoscopic System for Optimal Positioning (AESOP). Изначально система разрабаты-



Роботическая система Acrobot⁵
Acrobot Robot System⁵

валась NASA для космической программы. Это была механическая рука, предназначенная для автоматического изменения положения эндоскопа. Двумя годами позже AESOP «приобрел» слух и смог выполнять голосовые команды хирурга.

Следующим шагом в эволюции роботической хирургии стало развитие дистанционной телероботической хирургии. Концепция данного проекта состояла в том, что хирург находится у консоли, а компьютер транслирует его движения на манипуляторы, расположенные в организме пациента. Непосредственно теле-робот должен находиться у операционного стола и быть способным манипулировать не только камерой, но и несколькими «руками» с инструментами. Разработки в области роботической дистанционной телемедицины были одновременно начаты тремя государственными организациями в США, что привело к созданию военного прототипа, способного обеспечить помощь раненым непосредственно на поле боя. При этом хирург находился глубоко в тылу и осуществлял манипуляции дистанционно при помощи телевизионной трансляции.

Компании Intuitive Inc. (Sunnyvale, CA, США) удалось выкупить создаваемый военными организациями прототип роботической системы для применения в гражданских целях. Результатом стало появление хирургической роботической системы da Vinci, основанной на принципах дистанционной телемедицины и являющейся неоспоримым лидером в области роботической хирургии.

⁴ URL: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Isaac_Asimov&utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera

⁵ URL: https://www.clave-orthopedie-nice.com/rappel-historique-des-protheses-totales-de-genou/?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera

В настоящее время доступны для использования две роботические хирургические системы: система ZEUS и система da Vinci.

Компания Computer Motion разработала и представила роботическую систему ZEUS в 1990 г. Основана система на базе AESOP и имеет две подсистемы — хирурга и пациента. Подсистема хирурга состоит из консоли с видеомонитором и двумя рукоятками, контролирующими работу манипуляторов. Манипуляторы удерживают инструменты. Консоль хирурга может быть расположена в любом месте в пределах операционной. Подсистема пациента состоит из трех роботических рук, прикрепленных к операционному столу.

Изначально хирургическая система ZEUS была создана для кардиохирургических манипуляций, и лишь затем произошла ее валидизация в других областях (общей хирургии, гинекологии и урологии). Несмотря на работы, сообщающие об успешном выполнении серий кардиохирургических операций, система обладает целым рядом ограничений. Ее громоздкость сильно осложняет формирование операционной. Неправильное расположение трокаров полностью блокирует выполнение всего оперативного вмешательства. Отсутствие тактильной чувствительности диктует хирургу необходимость полагаться на собственную интуицию в ряде моментов. При этом сами инструменты обладают лишь шестью степенями свободы. Самым главным ограничением является 3D-визуализация. Необходимость наличия специальных очков для преобразования 2D- в 3D-сигнал резко затрудняет выполнение операций.

Система da Vinci состоит из трех компонентов: консоли хирурга, тележки пациента и оптической системы.

Консоль хирурга является панелью управления всей системы и местом работы оператора, управляющего тремя инструментами-манипуляторами и камерой тележки пациента при помощи двух джойстиков и ножных педалей.

Движения рук хирурга полностью копируются джойстиками и передаются на манипуляторы, нивелируя тремор и обеспечивая возможность прецизионной диссекции. Ножные педали обеспечивают активацию процесса коагуляции (система оснащена моно- и биполярным типами коагуляции), переключение между рабочими манипуляторами и камерой, а также фокусировку оптической системы. При помощи консоли хирург обладает возможностью удаленного управления системой, поэтому консоль может быть расположена за пределами операционной.

Валидизация системы da Vinci была начата кардиохирургами. В 1999 г. опубликовано первое сообщение



Консоль хирурга роботической хирургической системы da Vinci
Surgeon's console of the da Vinci Robotic Surgical System

об успешном выполнении аортокоронарного шунтирования при помощи хирургической системы da Vinci.

НАСТОЯЩЕЕ

Роботохирургия продолжает стремительно развиваться, завоевывая все больше и больше направлений в медицине. Стала реальностью так называемая трансконтинентальная телероботохирургия. В 2001 г. хирурги успешно удалили желчный пузырь с помощью дистанционно управляемой роботической системы, установленной в одном из госпиталей Франции, находясь от пациентки на расстоянии 7000 км, в Нью-Йорке. Современные средства связи обеспечили передачу сигналов в обоих направлениях (от видеокamеры лапароскопа к хирургу и обратно — от станции управления к роботу) по трансатлантическому волоконно-оптическому кабелю. В настоящее время активно развиваются трансоральная роботическая хирургия, хирургия головы и шеи, гинекологическая роботическая хирургия.

Продолжаются работы по созданию новых роботов. Уже доступна однопортовая модель системы



Тележка пациента роботической хирургической системы da Vinci 2000
Patient cart of the da Vinci 2000 Robotic Surgical System

da Vinci — da Vinci SP. Новые возможности манипуляторов и визуального контроля позволят довести до совершенства оперативные вмешательства на бьющемся сердце. «Руки» робота смогут двигаться в такт сокращениям, постоянно оставаясь на одинаковом расстоянии от зоны оперативного вмешательства и как бы нивелируя колебания стенки сердца. При этом операционное поле, которое хирург видит на экране, будет оставаться неподвижным. Уже сегодня возможно внедрение в интерфейс роботической системы данных магнитно-резонансной, компьютерной томографии и трансректального ультразвукового исследования, выполняемых в режиме реального времени.

БУДУЩЕЕ

Некоторые направления медицины с нетерпением ждут появления микророботической хирургии. Одно из таких направлений — стереотаксическая хирургия головного мозга. Футуристической разработкой в этом направлении является система, предложенная Wieneke и Lutze, состоящая из миниатюрных инструментов с размером внешнего тубуса всего 0,63 мм и микроэндоскопической системы трокаров. Посредством электронного управления, при отсутствии кабелей и механических систем управления, устройство направляется непосредственно к точке своего применения — патологическому очагу. Все инструменты выполнены из материалов повышенной эластичности (никель-титановый сплав). Несложно предположить, что роботические инструменты будущего — это устройства крайне малого размера, проводимые в организм человека через миниатюрные трокеры.

Лауреат Нобелевской премии физик Ричард Фейнман в своей лекции «Там внизу много места» (Plenty

of Room at the Bottom) в 1959 г. предположил, что существует теоретическая возможность манипуляции субстанциями на молекулярном уровне.

На сегодняшний день в разработке находятся несколько нанотехнологических направлений в медицине, некоторые из них имеют отношение к диагностике патологических состояний. Прежде всего это применение искусственных магнитных кристаллов, способных обнаружить патогены. Другое направление нанотехнологии сосредоточено на полупроводниковых кристаллах — квантовых «точках», способных отражать фотоны только в одной длине волны. Данные субстанции способны прикрепляться к последовательности ДНК и, отражая фотоны, формировать некий «штрихкод», позволяющий выявить недостатки последовательности. Есть данные о разработке наночипов, способных быть внедренными в организм и защищать от воздействия патогенов те или иные клетки.

Применение указанных методик (и не только их) на сегодняшний день кажется чем-то из разряда фантастики, но многие авторы называют их технологиями будущего.

Современное поколение робот-ассистированных систем предоставляет специалистам превосходную стереотаксическую визуализацию. Тем не менее разработка и внедрение в рутинную практику дополнительных интраоперационных способов визуализации и/или совмещение предоперационных методов визуализации с реальной картиной операционного поля позволит повысить аккуратность и прецизионность вмешательств, а также безопасность при их выполнении. Например, отсутствие тактильной чувствительности может быть с лихвой перекрыто улучшенной визуализацией. Большинство исследований в данной области



Робот-ассистированная хирургическая система Amadeus
Amadeus surgical robot

сфокусировано на идентификации нормальных анатомических структур, таких как нервы или артерии, а также патологических тканей (опухолей, лимфатических сосудов, хирургического края с положительным статусом). Сегодня мы находимся на пороге очередной смены парадигмы в сторону совмещения различных технологий и инноваций на поле робот-ассистированной хирургии и реальной интраоперационной картины. Отметим наиболее значимые из них.

**Робот-ассистированная радикальная простатэктомия:
возможности технологического улучшения**

Повсеместное распространение скрининга уровня простатического специфического антигена привело к выявлению не только агрессивных опухолей, но и большого количества клинически незначимых случаев рака предстательной железы, равно как и случаев низкого риска. Для оперативного лечения рака предстательной железы (как низкого, так и высокого риска) в развитых странах часто предлагается робот-ассистированная радикальная простатэктомия. На сегодняшний день доля таких вмешательств превышает 80 % от общего числа случаев оперативного лечения рака предстательной железы в США. В России робот-ассистированная технология продолжает набирать популярность, но ввиду малого количества установленных хирургических систем доля робот-ассистированных операций не столь велика.

**Робот-ассистированная парциальная нефрэктомия:
возможности технологического улучшения**

В последние годы налицо рост частоты почечно-клеточной карциномы по всему миру. Рекомендации всех профессиональных ассоциаций говорят о резекции почки как о методе выбора оперативного лечения

опухолей почки малого размера. Робот-ассистированная парциальная нефрэктомия приобретает повсеместно все большую популярность, доказывая свое превосходство над открытой и лапароскопической техниками.

Системы молекулярной визуализации

Системы молекулярной визуализации играют потенциальную роль при визуализации микроскопических структур и специфических тканей. Инфракрасная флуоресцентная спектроскопия давно известна всем урологам благодаря интегрированной в робот-ассистированную платформу системе FireFly. В настоящее время инфракрасная флуоресцентная спектроскопия используется в основном для идентификации анатомических структур и подтверждения ишемии или перфузии. Однако применение данной системы этим не ограничено. Спектроскопия и конфокальная микроскопия являются наиболее изучаемыми техниками, которые могут быть полезны в урологической робот-ассистированной хирургии. Другие варианты молекулярной визуализации в настоящее время находятся на ранней стадии изучения. К ним относятся когерентная оптическая томография, мультифотонная микроскопия и фотоакустическая визуализация.

Инфракрасная флуоресцентная визуализация

Данная система использует флуорофор в качестве контрастного агента для обеспечения визуализации в режиме реального времени анатомических структур с порогом глубины до нескольких миллиметров. В настоящее время наиболее популярным неспецифическим флуорофором, используемым в урологической практике, является индоцианин зеленый. Этот водорастворимый агент не является радиоактивным,

не оказывает нефротоксического эффекта благодаря тому, что связывается с белками плазмы (альбумином).

Конфокальная лазерная эндомикроскопия

Конфокальная лазерная эндомикроскопия — это микровизуализация в реальном времени, впервые нашедшая применение в гастроэнтерологии. На сегодняшний день в урологии в основном было изучено ее использование для визуализации рака мочевого пузыря. В данной методике контрастным агентом выступает флюоресцеин. Оптоволоконный датчик применяется для визуализации в режиме реального времени. При этом отображается лишь узконаправленный пучок света, проходящий через оптоволокно. Для достижения большей глубины проникновения и более четкого изображения возможно применение более широких датчиков.

Спектроскопия

Спектроскопия — метод визуализации, основанный на взаимодействии светового и другого излучения при прохождении через ткань и биологические среды. Она в режиме реального времени предоставляет данные для дифференцировки злокачественной и доброкачественной ткани при выполнении парциальной нефрэктомии.

Системы органной визуализации

Визуализация органов при помощи компьютерной, магнитно-резонансной томографии и ультразвука является стандартом предоперационного обследования пациентов. Все чаще и чаще специалисты говорят о необходимости выполнения оперативного вмешательства под контролем визуализации в режиме реального времени. Целью является интеграция важнейшей информации непосредственно в операционное поле.

Ультразвук и компьютерная томография

Одним из очевидных недостатков минимально инвазивной хирургии является отсутствие тактильной чувствительности. Детальная визуализация в режиме реального времени позволяет хирургу компенсировать ее отсутствие.

Ультразвук для робот-ассистированной резекции почки

При выполнении робот-ассистированной резекции почки ультразвуковое исследование, проводимое интраоперационно, может быть очень полезно, поскольку оно предоставляет информацию о точной локализации опухоли, даже полностью интрапаренхиматозной, что резко снижает частоту положительного статуса хирургического края.

Ультразвук для робот-ассистированной радикальной простатэктомии

Применение ультразвуковой технологии в ходе выполнения робот-ассистированной радикальной простатэктомии продемонстрировало многообещающие результаты, поскольку облегчает идентификацию ключевых анатомических структур.

Дополненная реальность

Альтернативным томографии и ультразвуку методом, использующим только дооперационные изображения и не требующим наличия дорогостоящего оборудования, является дополненная реальность. Весь процесс ее построения заключается в четырех основных моментах: регистрации, слежении, деформации и выводе на дисплей.

Симуляционные технологии в робот-ассистированной хирургии

Освоение новых навыков — всегда сложная задача. Обычно мы начинаем с наблюдения за кем-то, чтобы собрать как можно больше информации. Затем уточняем детали, чтобы заполнить пробелы в знаниях, и, наконец, сами стараемся повторить.

* * *

Отсутствие эффективных программ хирургической подготовки — это лишь верхушка айсберга, обнаруженная в последнее десятилетие. Действительно, проблема кажется не только качественной, но и количественной, учитывая нехватку врачей, которая предсказывается в глобальном масштабе.

За последние два десятилетия мы пережили невиданные ранее изменения. Беспрецедентное количество «прорывных» технологий стало невероятно популярным: персональные компьютеры, интернет, смартфоны и социальные сети — и это лишь некоторые из них. И с каждым днем горизонты познания будут стремительно расширяться. Именно поэтому так важно обратить особое внимание на такие направления, как стандартизация обучения, разработка симуляторов, моделирование и системный анализ, разработка и внедрение протоколов и многие другие. К сожалению, невозможно вместить в рамки обзорной статьи все аспекты и направления робот-ассистированной хирургии. Но более подробно ознакомиться с аргументацией и фактами можно в новой книге под авторством К.Б. Колонтарева и Д.Ю. Пушкаря «Робот-ассистированная хирургия предстательной железы».

Константин Борисович Колонтарев,

доктор медицинских наук, профессор, заместитель руководителя и заведующий операционным блоком Московского урологического центра ГБУЗ «Московский многопрофильный научно-клинический центр им. С. П. Боткина Департамента здравоохранения г. Москвы»

Статьи следует направлять в редакцию через форму на сайте <https://www.medrobot-j.com>.

При направлении статьи в редакцию авторам необходимо руководствоваться следующими правилами.

• Общие правила

При первичном направлении рукописи в редакцию должны быть указаны все авторы данной статьи. Обратную связь с редакцией будет поддерживать ответственный автор, обозначенный в статье (см. пункт «Оформление данных о статье и авторах»).

Представление в редакцию ранее опубликованных статей не допускается.

Для рассмотрения рукописи редакции требуется письменное согласие каждого автора на обработку и распространение персональных данных в печатном и цифровом виде. Скан подписанного согласия необходимо загрузить как дополнительный файл в разделе «Описание» при подаче статьи. Бумажный подписанный вариант согласия необходимо отправить на адрес редакции.

• Оформление данных о статье и авторах

Первая страница должна содержать:

- название статьи,
- инициалы и фамилии всех авторов,
- ученые степени, звания, должности, место работы каждого из авторов, а также персональный международный идентификатор ORCID (подробнее: <http://orcid.org/>),
- полное название учреждения (учреждений), в котором (которых) выполнена работа,
- адрес учреждения (учреждений) с указанием индекса.

Последняя страница должна содержать сведения об авторе, ответственном за связь с редакцией:

- фамилия, имя, отчество полностью,
- персональный идентификатор в РИНЦ (подробнее: http://elibrary.ru/projects/science_index/author_tutorial.asp),
- контактный телефон,
- адрес электронной почты.

• Оформление текста

Статьи принимаются в форматах doc, docx, rtf.

Шрифт – Times New Roman, кегль 14, межстрочный интервал 1,5. Все страницы должны быть пронумерованы. Текст статьи начинается со второй страницы.

• Объем статей (без учета иллюстраций и списка литературы)

Оригинальная статья – не более 12 страниц (большой объем допускается в индивидуальном порядке, по решению редакции).

Описание клинических случаев – не более 8 страниц.

Обзор литературы – не более 20 страниц.

Краткие сообщения и письма в редакцию – 3 страницы.

• Резюме

Ко всем видам статей на отдельной странице должно быть приложено резюме на русском и английском (по возможности) языках. Резюме должно кратко повторять структуру статьи, независимо от ее тематики.

Объем резюме – не более 2500 знаков, включая пробелы. Резюме не должно содержать ссылки на источники литературы и иллюстративный материал.

На этой же странице помещаются ключевые слова на русском и английском (по возможности) языках в количестве от 3 до 10.

• Структура статей

Оригинальная статья должна содержать следующие разделы:

- введение,
- цель,
- материалы и методы,
- результаты,
- обсуждение,
- заключение (выводы),
- вклад всех авторов в работу,
- конфликт интересов для всех авторов (в случае его отсутствия необходимо указать: «Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов»),

- одобрение протокола исследования комитетом по биоэтике (с указанием номера и даты протокола),
- информированное согласие пациентов (для статей с авторскими исследованиями и описаниями клинических случаев),
- при наличии финансирования исследования – указать его источник (грант и т.д.),
- благодарности (раздел не является обязательным).

• Иллюстративный материал

Иллюстративный материал должен быть представлен в виде отдельных файлов и не фигурировать в тексте статьи. Данные таблиц не должны повторять данные рисунков и текста и наоборот.

Фотографии представляются в форматах TIFF, JPG с разрешением не менее 300 dpi (точек на дюйм).

Рисунки, графики, схемы, диаграммы должны быть редактируемыми, выполненными средствами Microsoft Office Excel или Office Word.

Все рисунки должны быть пронумерованы и снабжены подписными подписями. Фрагменты рисунка обозначаются строчными буквами русского алфавита – «а», «б» и т.д. Все сокращения, обозначения в виде кривых, букв, цифр и т.д., использованные на рисунке, должны быть расшифрованы в подписной подписи. Подписи к рисункам даются на отдельном листе после текста статьи в одном с ней файле.

Таблицы должны быть наглядными, иметь название и порядковый номер. Заголовки граф должны соответствовать их содержанию. Все сокращения расшифровываются в примечании к таблице.

• Единицы измерения и сокращения

Единицы измерения даются в Международной системе единиц (СИ).

Сокращения слов не допускаются, кроме общепринятых. Все аббревиатуры в тексте статьи должны быть полностью расшифрованы при первом упоминании.

• Список литературы

На следующей после текста странице статьи должен располагаться список цитируемой литературы.

Все источники должны быть пронумерованы, нумерация осуществляется строго по порядку цитирования в тексте статьи, не в алфавитном порядке. Все ссылки на источники литературы в тексте статьи обозначаются арабскими цифрами в квадратных скобках начиная с 1 (например, [5]). Количество цитируемых работ: в оригинальных статьях – не более 20–25, в обзорах литературы – не более 60.

Ссылки должны даваться на первоисточники, цитирование одного автора по работе другого недопустимо.

Включение в список литературы тезисов возможно исключительно при ссылке на иностранные (англоязычные) источники.

Ссылки на диссертации и авторефераты, неопубликованные работы, а также на данные, полученные из неофициальных интернет-источников, не допускаются. Для каждого источника необходимо указать: фамилии и инициалы авторов (если авторов более 4, указываются первые 3 автора, затем ставится «и др.» в русском или «et al.» в английском тексте). Авторы цитируемых источников должны быть указаны в том же порядке, что и в первоисточнике.

При ссылке на статьи из журналов после авторов указывают название статьи, название журнала, год, том, номер выпуска, страницы, DOI статьи (при наличии). При ссылке на монографии указывают также полное название книги, место издания, название издательства, год издания, число страниц.

Статьи, не соответствующие данным требованиям, к рассмотрению не принимаются.

• Общие положения:

Рассмотрение статьи на предмет публикации занимает не менее 8 недель.

Все поступающие статьи рецензируются. Рецензия является анонимной.

Редакция оставляет за собой право на редактирование статей, представленных к публикации.

Редакция не предоставляет авторские экземпляры журнала. Номер журнала можно получить на общих основаниях (см. информацию на сайте).

Полная версия требований представлена на сайте журнала <https://medrobot-j.com>