

<https://doi.org/10.29188/2222-8543-2025-18-2-58-67>

Инкрустация мочеточниковых стентов: причины, диагностика, профилактика

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

А.А. Рахматов¹, Д.М. Монаков^{1,2}, А.А. Грицкевич^{1,2}, Т.П. Байтман^{1,2}, А.А. Костин¹

¹ Российский университет дружбы народов; Москва, Россия

² Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского; Москва, Россия

Контакт: Рахматов Азим Аюбович, doctor.rakhmatov@mail.ru

Аннотация:

Введение. Установка внутреннего мочеточникового стента – одно из наиболее распространенных медицинских вмешательств, выполняемых урологами. Некоторые категории пациентов (например, после реконструктивно-пластика операций верхних мочевыводящих путей или с обструктивной уропатией, обусловленной патологическими процессами в тазу или забрюшинном пространстве) требуют сохранения внутренних мочеточниковых стентов на протяжении длительного времени, что повышает риск их инкрустации.

Цель. Систематизация публикаций по проблеме инкрустации стентов и поиска новых направлений исследований в данной области.

Материалы и методы. Проведены поиск, анализ и систематизация релевантных публикаций с использованием ключевых слов в базах данных eLibrary.ru, PubMed, cyberleninka.ru. Исключены тезисы конференций, диссертации и их авторефераты, а также комментарии редакции. В результате отобрано 62 публикации, которые были включены в настоящий обзор.

Результаты. В качестве основных патогенетических механизмов инкрустации рассматриваются изменение химического состава мочи и ее pH, адсорбцию белков и формирование биопленки, а также кристаллизацию солей на поверхности стентов. Определенная роль принадлежит материалу, из которого изготовлен стент, его покрытию, а также длительности его пребывания в мочевыводящих путях. Диагностика инкрустации стентов основана на применении ультразвуковых и рентгеновских методов диагностики, преимущественно – компьютерной томографии. В качестве мер профилактики инкрустации стентов исследуется возможность применения различных материалов для их изготовления, использования различного их покрытия, а также фармакологических препаратов и физических факторов. Тем не менее, на сегодняшний день наиболее надежным методом профилактики инкрустации мочеточниковых стентов остается их своевременная замена.

Выводы. Инкрустация мочеточниковых стентов остается одной из актуальных проблем урологии. Для ее решения необходимо мультидисциплинарное сотрудничество производителей стентов и врачей различных клинических специальностей, которые в процессе своей повседневной деятельности имеют дело с такими пациентами. Профилактика инкрустации стентов основана на комплексном применении организационных, технических и медицинских мероприятий.

Ключевые слова: мочеточниковый стент; инкрустация; патогенез; материалы; покрытие; диагностика; профилактика.

Для цитирования: Рахматов А.А., Монаков Д.М., Грицкевич А.А., Байтман Т.П., Костин А.А. Инкрустация мочеточниковых стентов: причины, диагностика, профилактика. Экспериментальная и клиническая урология 2025;18(2):58-67; <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2025-18-2-58-67>

<https://doi.org/10.29188/2222-8543-2025-18-2-58-67>

Ureteral stents encrustation: pathogenesis, diagnostics, prevention

LITERATURE REVIEW

A.A. Rakhmatov¹, D.M. Monakov^{1,2}, A.A. Gritskevich^{1,2}, T.P. Baitman^{1,2}, A.A. Kostin¹

¹ RUDN University of Russia; Moscow, Russia

² Vishnevsky National Medical Research Center for Surgery; Moscow, Russia

Contacts: Azim A. Rakhmatov, doctor.rakhmatov@mail.ru

Summary:

Introduction. The ureteral stent placement is one of the most common medical procedures in urology. Some patients (for example, after reconstructive surgeries on the upper urinary tract or ones with obstructive uropathy due to pathological processes in the pelvis or retroperitoneal space) require ureteral stents for a long time, which increases the risk of their encrustation. The purpose of this review is to systematize publications on the problem of stent encrustation and to discover for new research directions in this field.

Materials and methods. The search, analysis and systematization of relevant publications using keywords in elibrary.ru, PubMed, cyberleninka.ru databases. Conference abstracts, dissertations and their abstracts, as well as editorial comments were excluded. As a result, 62 publications were selected, which were included in this review.

Results. Changes in the chemical composition of urine and its pH, protein adsorption and biofilm formation, as well as salt crystallization on the surface of stents are the main pathogenetic mechanisms of inlay. A certain role belongs to the stent's material, its coating, as well as the duration of its stay in the urinary tract. The diagnosis of stent encrustation is based on the use of ultrasound and X-ray diagnostic methods, mainly computed tomography. As measures to prevent stent encrustation, the possibility of using various materials for their manufacture, the use of medicines and physical factors are under investigation now. Nevertheless, by far the most reliable method of preventing ureteral stent encrustation remains their timely replacement.

Conclusion. Encrustation of ureteral stents remains one of the urgent problems of urology. It requires multidisciplinary cooperation between stent manufacturers and medical specialists who deal with such patients in the course of their routine practice. Prevention of stent encrustation is based on the integrated application of organizational, technical and medical measure.

Key words: ureteral stent; encrustation; pathogenesis; materials; coating; diagnosis; prevention.

For citation: Rakhmatov A.A., Monakov D.M., Gritskevich A.A., Baitman T.P., Kostin A.A. Ureteral stents encrustation in patients with oncological diseases. Experimental and Clinical Urology 2025;18(2):58-67; <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2025-18-2-58-67>

ВВЕДЕНИЕ

Стентирование мочеточников широко применяется при лечении обструктивной уропатии различной этиологии, в том числе, у пациентов с онкологическими заболеваниями органов малого таза и брюшной полости, у которых нарушение уродинамики может быть обусловлено опухолевым сдавлением мочеточников, инфильтративным ростом злокачественных новообразований, а также последствиями хирургического лечения и лучевой терапии [1]. Установка мочеточников стента позволяет своевременно восстановить отток мочи, предупредить развитие гидронефроза и сохранить функцию почек, что особенно важно при необходимости проведения системной противоопухолевой терапии [2]. Пациенты с онкологическими заболеваниями часто требуют длительного дренирования мочевых путей в процессе проведения противоопухолевого лечения или как элемента паллиативной помощи. Однако нахождение стента в организме в течение продолжительного времени сопряжено с риском развития различных осложнений, одним из которых является инкрустация [3]. Под инкрустацией мочеточников стента понимается отложение на его поверхности минеральных солей (струвит, гидроксиапатит, кальция оксалат, ураты, цистин), способных нарушать его функцию, вызывать или усугублять стент-ассоциированные симптомы, а также способствовать возникновению гидронефроза и инфекционно-воспалительных процессов в мочеполовой системе (в том числе, с формированием биопленок) [4, 5].

Проблема инкрустации стентов приобретает особую актуальность в связи с ростом онкологической заболеваемости, успехами в лечении злокачественных новообразований и, как следствие этого, увеличением продолжительности жизни пациентов, в том числе, получающих паллиативное лечение.

У онкологических больных риск инкрустации мочеточников стентов возрастает. Это связано с необходимостью их длительного нахождения в организме пациента, а также развитием на фоне течения онкологического заболевания и проводимого его лечения различных метаболических изменений, способствующих кристаллообразованию. К ним относятся нарушение водно-электролитного и пуринового обмена, снижение экскреции цитрата и изменение pH мочи [6].

Инкрустация существенно снижает клиническую эффективность стентирования, ухудшает качество жизни пациентов и увеличивает нагрузку на систему здравоохранения из-за необходимости проведения повторных инвазивных медицинских вмешательств [7].

Целью настоящего обзора является систематизация современных данных о патогенезе инкрустации мочеточников стентов, анализ факторов риска, а также оценка существующих и перспективных методов профилактики этого осложнения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведены поиск, анализ и синтез релевантных публикаций в базах данных eLibrary.ru, PubMed, cyberleninka.ru. Поиск проводился с использованием ключевых слов «мочеточниковый стент» («ureteral stent»), «инкрустация» («incrustation»), «опухоли» («tumors»), «злокачественные новообразования» («malignant neoplasms»), «химиотерапия» («chemotherapy»), «лучевая терапия» («radiotherapy»), «профилактика» («prevention»), «диагностика» («diagnosis»). После исключения описания клинических наблюдений и их серий, тезисов конференций, редакционных статей, диссертаций и авторефератов отобрано 62 источника, которые были включены в настоящий обзор.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Патогенез инкрустации мочеточников стентов

Инкрустация мочеточников стентов представляет собой многоэтапный процесс, включающий начальную адсорбцию белков и органических компонентов мочи, адгезию микроорганизмов, формирование биопленок и последующее осаждение неорганических солей на поверхности стента. Ключевую роль в запуске этого процесса играет контакт инородной поверхности стента с мочой, содержащей растворенные белки, ионы и бактерии [8, 9].

После установки стента различные органические молекулы адсорбируются на его поверхности, формируя кондиционирующую пленку (conditioning film) [10, 11]. Это создает подходящие условия для прикрепления бактерий и запуска процесса образования биопленок [12].

Формирование биопленки является одним из ранних этапов инкрустации. Он начинается с

колонизации поверхности стента микроорганизмами, среди которых наиболее значимы уреазоположительные бактерии, такие как *Proteus mirabilis*, *Klebsiella pneumoniae* и *Pseudomonas aeruginosa*. Они обладают способностью расщеплять мочевину с образованием амиака, что ведет к повышению pH мочи и созданию условий для кристаллизации струвита ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) и гидроксиапатита ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) – основных компонентов инкрустации [13, 14].

Биопленки могут образовываться также у пациентов без клинических признаков инфекции мочевыводящих путей. Как показано в исследовании М.Т. Bühmann и соавт., на поверхности стентов выявляются различные микроорганизмы, такие как *Lactobacillus*, *Enterococcus* и *Corynebacterium*. При этом бактериальная нагрузка остается низкой, но биопленка способствует удержанию кристаллов и инициации процесса кристаллизации [15].

Следует отметить, что мочевая кислота также играет важную роль в инкрустации, поскольку она снижает уровень гликозаминогликанов, которые в норме тормозят кристаллизацию [16].

Еще одним фактором, способствующим инкрустации, является состав мочи. Повышенная концентрация кальция, оксалатов, фосфатов и мочевой кислоты способствует перенасыщению мочи соответствующими солями, приводя к кристаллизации и образованию минеральных отложений. Р. Calvó и соавт. показали, что в клинических образцах инкрустации преобладали гидроксиапатит, магний-аммоний-фосфат, ураты и оксалат кальция. При этом состав отложений напрямую зависел от pH мочи: ураты преобладали при pH < 5,5, а фосфаты – при pH > 6,2 [17].

Физико-химические свойства поверхности стента также влияют на процесс его инкрустации. Н. Rebl и соавт. установили, что материалы с выраженно отрицательным зарядом (около 60 мВ) и умеренной гидрофильностью (угол смачивания ~85°) демонстрируют минимальную склонность к инкрустации *in vitro*. Это связано с меньшей способностью кристаллов и бактерий адсорбироваться на такой поверхности [18].

Длительность нахождения стента в организме напрямую коррелирует с вероятностью его инкрустации. По данным Т. Kawahara и соавт., частота обструкции составляет 26,8% при сроке катетеризации 6 недель, 56,9% – от 6 до 12 недель и 75,9% – более 12 недель. Обструкция просвета выявлена в 155 (47%) из 300 удаленных стентов, что подтверждает высокую вероятность инкрустации при увеличении длительности нахождения стента в организме. Средний период пребывания стентов до развития внутрипросветной обструкции составил 72 дня [19]. Согласно Т. Yoshida и соавт., даже при коротком сроке (14 дней) внутренняя поверхность стента была ин-

крустирована у 91,5% пациентов, а при сроке более 6 недель риск значительно возрастал. Отложения преимущественно фиксировались во внутреннем просвете, особенно в проксимальной (почечной) зоне [20].

Таким образом, патогенез инкрустации мочеточниковых стентов имеет многофакторную природу, включающую микробиологический компонент (формирование биопленки), физико-химические характеристики поверхности стента, метаболические особенности мочи и срок его стояния. Понимание этих механизмов имеет важное значение для разработки эффективных методов профилактики и выбора материалов для изготовления стентов.

Влияние материала стента на его инкрустацию

Важным аспектом профилактики инкрустации мочеточниковых стентов является выбор материалов и нанесение специальных покрытий, которые снижают вероятность образования минеральных отложений и формирования биопленок, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. С момента появления первых моделей стентов происходила эволюция от базовых силиконовых и полиэтиленовых конструкций к современным композиционным системам с антибактериальными и гидрофильными покрытиями, а также к биодеградируемым материалам, обеспечивающим самоустраниние стента без необходимости его извлечения. Современные стенты изготавливаются из трех основных групп материалов: термопластичных полимеров (например, полиуретан), термостабильных эластомеров (на основе силикона) и металлических сплавов (никель-титан, кобальт-хром) [21].

Металлические стенты обладают высокой прочностью и стойкостью к внешнему сдавлению, однако, несмотря на их механические преимущества, они характеризуются более высоким риском инкрустации по сравнению с полимерными аналогами. В настоящее время существует четыре типа металлических стентов: саморасширяющиеся, баллон-расширяемые, терморасширяющиеся и металлические стенты с покрытием [5]. Существенной проблемой металлических стентов является их высокая частота миграции, особенно при длительном нахождении в мочевыводящих путях. Со временем их способность обеспечивать проходимость мочеточника снижается из-за развития инкрустации, прорастания опухоли в просвет мочеточника или гиперпластической реакции уретелия, что существенно ограничивает долговременную эффективность металлических стентов [22].

Полимерные материалы. Наиболее широко применяются стенты, изготовленные из полиуретана и силикона. Полиуретановые стенты обладают хоро-

шими механическими свойствами, однако склонны к инкрустации при длительном нахождении в мочевыводящих путях [23].

Стенты из чистого полиуретана имели ряд отрицательных свойств, таких как повышенная бактериальная колонизация и повреждение уротелия (эррозии и язвообразование) при длительном контакте с ним. Модернизация полиуретановых стентов позволила снизить частоту осложнений. Tecoflex (PNN Medical) – алифатический термопластический полиуретан с высокой рентгеноконтрастностью, который становится более жестким после установки в мочеточник. Для этого материала характерна высокая частота инкрустации кальций-оксалатными и уратными камнями. Percuflex2ex (Boston Scientific) – полиуретановый кополимер, который становится гибким при комнатной температуре. Несмотря на улучшенные физические свойства, показатели инкрустации и бактериальной колонизации остаются аналогичными немодифицированным полиуретановым стентам [24].

Sof-Flex® (Cook Medical) имеет низкий коэффициент трения, но высокую частоту инкрустации кальций-карбонатными и кальций-оксалатными камнями [22].

C-flex (Cook Medical) демонстрирует высокую устойчивость к радиальной компрессии, однако обладает высокой бактериальной адгезией [5].

Силиконовые стенты обладают высокой биосовместимостью благодаря инертности и нетоксичности, однако их эффективность в дренировании верхних мочевыводящих путей ниже, чем у стентов из других материалов, из-за меньшей устойчивости к деформации и сжатию при радиальной компрессии [25]. Силикон характеризуется высоким коэффициентом трения, гибкостью, эластичностью и растяжимостью, что затрудняет установку стентов в извитых или обтурированных камнями мочеточниках.

Преимуществом силикона является низкая частота инкрустации. Образование струвитных и кальций-фосфат-гидроксиапатитных камней у силиконовых стентов ниже, чем у полиуретановых, однако инкрустация кальций-карбонатом и кальций-оксалатом остается сопоставимой. На силиконовых стентах чаще происходит адсорбция *E. faecalis*, чем *E. coli*. Современные технологии позволяют улучшить характеристики силиконовых стентов, сохраняя их преимущества. Новое поколение включает покрытия из лецитина, цитрата серебра и жидкого силикона в сочетании с различными полимерами – Silitek (Surgitek), UroGuide (Olympus) [5].

В 2019 году O. Traxer и соавт. показали, что использование силиконовых стентов с гидрофильным покрытием связано с меньшим дискомфортом у пациентов после уретероскопии по сравнению с полиуретановыми стентами [26].

В 2020 году N. Gadzhiev и соавт. также продемонстрировали преимущества силиконовых стентов, выявив меньшую частоту болевого синдрома через две недели после установки и перед удалением [27].

Биодеградируемые стенты. Современные исследования уделяют большое внимание разработке стентов из биодеградируемых материалов, которые могут полностью растворяться и выводиться из организма без необходимости удаления [28]. Такие стенты потенциально снижают риск инкрустации за счет предотвращения длительного контакта с мочой. Примером таких стентов является «Uriprene», который начинает разлагаться спустя 3 недели и полностью разрушается через 10 недель [29, 30]. Разработка таких стентов ведется с целью устранения проблемы «забытых» стентов, улучшения качества жизни пациентов, уменьшения количества инвазивных процедур и экономических затрат, а также снижение выброса углекислого газа в окружающую среду при утилизации использованных стентов [7].

Биодеградируемые стенты изготавливаются из синтетических полимеров, преимущественно альфа-гидроксикислот, таких как полимолочная кислота (PLA), полигликолевая кислота (PGA), их сополимер полигликолевая/полимолочная кислота (PGLA), а также поликапролактон (PCL) и полидиоксанон (PDX). Скорость биодеградации этих материалов различается: PLA и PCL разлагаются медленно, в течение нескольких месяцев или лет, тогда как PGA и PDX характеризуются высокой скоростью деградации – от нескольких недель до месяцев. PGLA, синтезируемый из гликолида и лактида в различных пропорциях, объединяет преимущества и недостатки обоих компонентов, что позволяет регулировать скорость деградации и механические свойства материала [31-33]. Исследования показали, что биодеградируемые стенты из полигликолевой кислоты (PGA) и полимолочной кислоты (PLA) демонстрируют высокую биосовместимость, однако требуются повышение их механических характеристик.

Влияние покрытия мочеточниковых стентов на их инкрустацию

Одним из ключевых направлений совершенствования мочеточниковых стентов является разработка и внедрение покрытий, способных противодействовать образованию биопленок и минеральных отложений. Такие покрытия позволяют значительно повысить функциональную надежность стентов, особенно при длительном их нахождении в организме, и играют важную роль в профилактике инкрустации. Ниже рассмотрены наиболее изученные и перспективные типы покрытий, применяемых в клинической и экспериментальной практике. ■

Исследования показывают, что серебросодержащие покрытия могут значительно снижать адгезию бактерий и предотвращать образование биопленок [9].

Покрытия на основе поливинилпирролидона (PVP) способствуют снижению трения и бактериальной адгезии, что обусловлено их высокой гидрофильностью. Стенты с PVP-покрытием демонстрируют меньшую склонность к микробной колонизации и инкрустации [34]. Аналогичным образом использование покрытия из фосфорилхолина, обладающего высокой биосовместимостью и устойчивостью к адгезии белков и микроорганизмов, позволило значительно уменьшить образование биопленок и минеральных отложений на поверхности стентов [21, 35].

Наноструктурные покрытия на основе аморфного углерода и атомарного серебра (CAg) обладают выраженным антиинкрустационными свойствами. В экспериментальном исследовании М.И. Когана и соавт. было показано, что более 60% поверхности стентов с таким покрытием оставались свободными от минеральных отложений, а толщина налета не превышала 100 мкм, что значительно отличалось от показателей контрольной группы с титановыми покрытиями [36].

Триклозан – антимикробный препарат широкого спектра действия, активно применяется для покрытия мочеточниковых стентов. Исследования показали, что стенты, покрытые триклозаном, уменьшают частоту инфекций мочевыводящих путей и замедляют процесс инкрустации [37]. Однако в других клинических работах не выявлено значимых различий по степени образования биопленок и инкрустации между стентами с триклозаном и без него, что делает вопрос об эффективности этого покрытия предметом дальнейших исследований [38].

Алмазоподобные углеродные покрытия (DLC) обладают высокой биосовместимостью и способностью снижать вероятность инкрустации. В исследовании N. Laube и соавт. у 10 пациентов со склонностью к инкрустации применение DLC-стентов позволило добиться значительного снижения как минерализации, так и образования биопленок по сравнению с ранее используемыми у этих же пациентов обычными стентами [39].

Покрытия из ферментов *Oxalobacter formigenes* исследуются для предотвращения кальций-оксалатного уролитиаза и инкрустации, однако результаты их применения пока остаются противоречивыми [40].

Покрытия на основе пентосан полисульфата (PPS), представляющего собой полусинтетический гепариноподобный гликозаминогликан, продемонстрировали высокую эффективность в ингибиции кристаллизации оксалата кальция. В экспериментальном исследовании на животных установлено, что си-

ликоновые диски с PPS-покрытием имели значительно меньшую степень инкрустации по сравнению с непокрытыми аналогами при экспозиции в течение 50 дней в мочевом пузыре [41].

Покрытия на основе метоксиполиэтиленгликоля, конъюгированного с 3,4-дигидроксифенилаланином ДОПА (мПЭГ-DOPA), обогащенные адгезивными компонентами, выделяемыми морскими мидиями, показали выраженную устойчивость к бактериальному прикреплению как *in vitro*, так и *in vivo* условиях. Тем не менее, несмотря на снижение бактериальной адгезии, статистически значимого уменьшения инкрустации на поверхности стентов зафиксировано не было [42].

Также в некоторых моделях используют комбинированные покрытия. Гидрогелевые покрытия, несмотря на ограниченную способность снижать бактериальную адгезию, значительно увеличивают продолжительность действия антибактериальных препаратов, таких как ципрофлоксацин и гентамицин, при их совместном нанесении. Это достигается за счет сочетания гидрофильного матрикса с гидрофобным антибиотиком, что обеспечивает его пролонгированное высвобождение, повышенную эффективность против бактериальной колонизации и одновременное снижение трения [43].

Подбор подходящих материалов и нанесение покрытий остается одним из ключевых направлений профилактики инкрустации мочеточниковых стентов. Совершенствование материалов и покрытий мочеточниковых стентов направлено на минимизацию инкрустации, повышение биосовместимости и сокращение частоты осложнений, особенно у онкологических пациентов с высоким риском метаболических нарушений и вторичных инфекций. Однако, несмотря на достигнутый прогресс, на данный момент не существует универсального материала, полностью исключающего риск инкрустации. Дальнейшее развитие технологий и дополнительные исследования в этой области могут значительно улучшить клинические результаты и качество жизни пациентов.

Методы диагностики инкрустации мочеточниковых стентов

Своевременная и точная диагностика инкрустации мочеточниковых стентов представляет собой важнейшее звено в профилактике осложнений, связанных с нарушением уродинамики и ухудшением качества жизни пациентов. Она включает широкий спектр инструментальных, лабораторных и аналитических методов, позволяющих оценить как факт наличия инкрустации, так и степень ее выраженности и протяженности. Ниже представлены ключевые ди-

агностические подходы, применяемые в современной урологической практике.

Традиционные методы диагностики, включая обзорную урографию, ультразвуковое исследование (УЗИ), а также компьютерную томографию (КТ), являются базовыми инструментами для верификации наличия инкрустаций.

Обзорная урография отличается доступностью, простотой выполнения и достаточной клинической информативностью для выявления массивных кальцинатов на стентах. В некоторых случаях она может быть достаточной для оценки степени инкрустации и часто используется в качестве метода первичной диагностики [44, 45].

УЗИ также занимает важное место в диагностике осложнений, связанных с инкрустацией мочеточниковых стентов. Несмотря на относительно низкую информативность в визуализации минеральных отложений, данный метод позволяет выявить признаки нарушения уродинамики верхних мочевыводящих путей, что может косвенно указывать на наличие инкрустации стента [44, 46].

Наиболее информативным методом выявления инкрустации стентов считается КТ с высоким разрешением, в частности, микрокомпьютерная томография, позволяющая выявлять даже минимальные минеральные отложения на стенте и оценивать степень инкрустации с построением трехмерных реконструкций этих участков [20].

Важным дополнением к лучевым методам диагностики является система градации инкрустации FECal (Forgotten-Encrusted-Calcified), предложенная для стандартизации оценки степени кальцификации и локализации минеральных отложений на стентах. Она включает пять степеней: от минимальной линейной инкрустации на одном из концов стента до массивной кальцификации по всей длине стента и на обоих его концах. Такая классификация позволяет оценить сложность предстоящего удаления стента

и выбрать оптимальную лечебную тактику (табл. 1, рис. 1) [47].

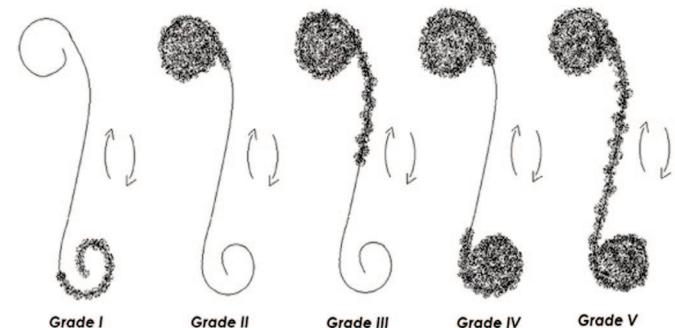


Рис. 1. Классификация степеней инкрустации мочеточниковых стентов [47]
Fig. 1. Classification of ureteral stent encrustation degrees [47]

В то же время, заслуживает внимания оценка метаболических параметров мочи, направленная на выявление предрасполагающих факторов кристаллизации. Как подчеркивается в работах последних лет, у пациентов с высоким риском инкрустации часто регистрируются гиперкальциурия, гиперурикурия, гипофосфатурия, снижение суточного диуреза и повышение pH мочи. Эти параметры могут быть использованы как предикторы химического состава отложений: при кислой реакции чаще преобладают ураты, тогда как щелочная среда способствует формированию струвитов и гидроксиапатита. Выявление этих нарушений позволяет прогнозировать вероятность образования отложений на поверхности стента, а также корректировать метаболический фон с целью профилактики дальнейшего прогрессирования инкрустации [6, 16].

Согласно современным данным, после удаления стента обязательным этапом является морфологическая и спектроскопическая верификация инкрустации, включающая макроскопическую классификацию, микроскопическое исследование и аналитическую оценку состава отложений. В клинической практике применяются методы сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), профилометрии, инфракрасной

Таблица 1. Классификация FECal степени инкрустации мочеточниковых стентов
Table 1. Classification FECal of the ureteral stent encrustation grade

Степень Grade	Характеристика Features
I	Минимальные линейные инкрустации вдоль любого из завитков стента. Minimal linear encrustations along either of the pigtail portions of the indwelling ureteral stent.
II	Циркулярная инкрустация, полностью покрывающая любой из завитков стента. Circular encrustation completely encasing either of the pigtail portions of the indwelling ureteral stent.
III	Циркулярная инкрустация, полностью покрывающая любой из завитков стента, а также линейная инкрустация его мочеточниковой части. Circular encrustation completely encasing either of the pigtail portions as well as linear encrustation of the ureteral aspects of the indwelling ureteral stent.
IV	Циркулярная инкрустация обоих концов стента. Circular encrustations completely encasing both of the pigtail portions of the indwelling ureteral stent.
V	Диффузная массивная инкрустация, полностью покрывающая как завитки, так и мочеточниковую часть стента. Diffuse and bulky encrustations completely encasing both of the pigtail and ureteral portions of the indwelling ureteral stent.

спектроскопии (FTIR), а также индуктивно-связанной плазменной эмиссионной спектроскопии (ICP-AES). Эти методы позволяют не только визуализировать микроструктуру минеральных отложений, но и дифференцировать их химический состав: в частности, определить наличие оксалатов кальция, струвитов, гидроксиапатита, фосфатов, уратов и цистина, что имеет значение для установления предполагаемой этиологии инкрустации и выбора тактики дальнейшего ведения пациента [6, 48].

С целью повышения точности прогнозирования и персонализации тактики лечения разработаны математические модели и *номограммы*, основанные на клинико-лабораторных показателях пациента – таких как длительность нахождения стента в организме, уровень глюкозы, параметры липидного спектра, pH мочи, уровень креатинина и др. Эти модели, построенные на основе логистической регрессии, демонстрируют высокую прогностическую точность (AUC от 0,84 до 0,87) и могут быть использованы для определения оптимальных сроков замены или удаления стента (рис. 2) [49].

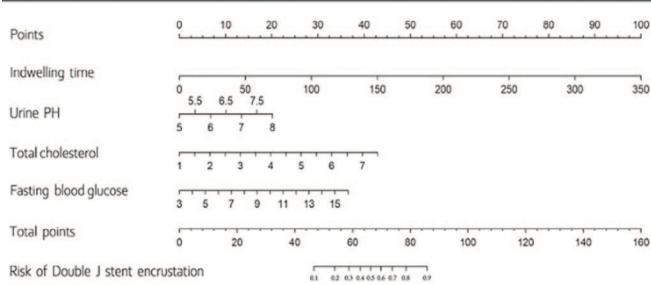


Рис. 2. Номограмма, оценивающая риск инкрустации стента [49]
Fig. 2. Nomogram predicting ureteral stent encrustation [49]

Таким образом диагностика инкрустации мочеточниковых стентов требует комплексного подхода, сочетающего лучевые методы визуализации, метаболическую оценку, морфологическое и спектроскопическое подтверждение состава отложений, а также использование прогностических математических моделей и номограмм. Это позволяет не только своевременно выявлять инкрустацию, но и прогнозировать риск развития ее осложнений и проводить их профилактику, оптимизировать сроки замены стента, повысить эффективность индивидуализированной терапии и, в конечном итоге, улучшить качество жизни пациентов.

Методы профилактики инкрустации стентов

Профилактика инкрустации мочеточниковых стентов представляет собой комплексное направление, включающее в себя подбор оптимальных сроков дренирования, использование современных материалов и покрытий, фармакотерапию, а также физические и технические решения, направленные на уменьшение риска минеральных и бактериальных отложений.

Одним из наиболее значимых факторов, способствующих развитию инкрустации, является длительность нахождения стента в организме. Исследования показали, что уже через 6 недель частота инкрустации составляет около 27%, а при сроке дренирования выше 12 недель превышает 75% [16]. В этой связи *определение рационального срока замены стента*, с учетом индивидуальных факторов риска, остается важнейшей профилактической мерой.

Помимо соблюдения сроков дренирования, активно изучаются возможности *фармакологического воздействия* на биологическую среду с целью снижения склонности к кристаллообразованию. Одним из наиболее изученных средств является калия цитрат, который способствует алкалинизации мочи, тем самым снижая вероятность образования уратных и цистиновых кристаллов, особенно у онкологических больных, предрасположенных к метаболическим нарушениям. В рандомизированном клиническом исследовании было показано, что у пациентов, получавших калия цитрат в дозировке 10 мэкв три раза в день, частота инкрустации стентов составила лишь 8,8%, тогда как в контрольной группе без лечения этот показатель достигал 34,4% ($p=0,012$), что свидетельствует о выраженной профилактической эффективности данной терапии [50].

Использование альфа-адреноблокаторов (тамсулозин, альфузозин) и комбинированной терапии с холинолитиками (солифенацин, толтеродин) позволяет не только уменьшить выраженность стент-ассоциированных симптомов, но и снизить воспалительный ответ уретелия, опосредованно влияя на формирование биопленки [51].

Паклитаксел и зотаролимус в составе покрытий демонстрируют снижение воспалительных и гиперпластических изменений стенки мочеточника, тем самым снижая вероятность инкрустации при длительном использовании [52, 53].

Инфекция мочевыводящих путей, сопровождающаяся формированием биопленок на поверхности стента, является важным патогенетическим фактором, способствующим инкрустации. В связи с этим показано использование однократной антибиотикопрофилактики перед установкой или удалением стента с целью профилактики инфекционных осложнений [54].

Разработка стентов с антибактериальными покрытиями остается приоритетным направлением в профилактике инфекционных осложнений и инкрустации. Среди таких решений клиническую значимость демонстрируют покрытия, содержащие ионы серебра в сочетании с фторхинолонами, в частности, офлоксацином, которые способствуют снижению образования биопленок и ускоренной биодеградации полимерных стентов [55]. Кроме того, наночастицы хлоргексидина обеспечивают пролонгированный антисептический

эффект до 15 суток, активно подавляя рост типичных уропатогенов [56]. Триклозан, применяемый в покрытии стентов, таких как *Triumph®*, демонстрирует снижение бактериальной адгезии и воспалительных реакций, ассоциированных с длительным стентированием [38].

Отдельный интерес представляют *методы физического воздействия*. Перспективным направлением считается использование низкочастотного ультразвукового воздействия амплитудно-модулированным сигналом, способным нарушать структуру формирующейся биопленки и препятствовать осаждению минеральных солей на поверхности стента. Механизм действия обусловлен кавитационными эффектами и акустическим микропотоком, затрудняющим адгезию загрязняющих частиц. В экспериментальных исследованиях установлены оптимальные анатомо-топографические зоны для экстракорпорального воздействия – задняя и средняя подмышечные линии, позволяющие достичь максимальной интенсивности ультразвуковой волны без выраженного термического эффекта. Безопасным признан импульсный режим, в отличие от постоянного, сопровождавшегося гиперемией и мышечными сокращениями у экспериментальных животных. При этом оптимальными точками приложения излучателя для воздействия на верхнюю и среднюю трети мочеточника являются задняя подмышечная линия, а для нижней трети – средняя подмышечная линия [57].

Наряду с этим, в клинической практике находит применение *местная терапия* в виде инстилляций растворов гликозаминогликанов, таких как гиалуроновая кислота и хондроитинсульфат. Эти соединения способствуют восстановлению защитного уротелиального барьера, снижая адгезию бактерий и ионов кальция, участвующих в кристаллообразовании. В частности, у пациентов с длительным стентированием рекомендованы курсы из шести еженедельных инстилляций в начале терапии с последующим повторением ежегодно, что позволяет достоверно уменьшить риск инкрустации [58, 59].

В отношении пациентов с выраженным болевым синдромом и симптомами раздражения, вызванными наличием дистального завитка стента, положительный эффект продемонстрировали периуретральные инъекции ботулотоксина типа А. Этот метод не только улучшал переносимость стентирования, но и снижал вторичное воспаление, потенциально способствующее формированию биопленок [60].

Современные подходы также включают *использование смарт-технологий*, направленных на предотвра-

щение забытых стентов. В ряде клиник внедрены электронные регистры и мобильные приложения, такие как «Stone MD – Мочекаменная болезнь» и «СТЕНТ-РАДАР», которые позволяют пациентам самостоятельно контролировать сроки удаления мочеточниковых стентов. Эти приложения также напоминают о необходимости своевременного визита к врачу. Согласно данным клинических наблюдений, применение цифровых трекеров позволило снизить частоту «забытых» стентов более чем в 10 раз [61, 62].

Таким образом, эффективная профилактика инкрустации стентов должна основываться на комплексной стратегии, включающей своевременную замену дренажей, подбор биосовместимых материалов и покрытий, фармакологическую поддержку и, при необходимости, физические и технические вмешательства. Особое значение приобретает использование препаратов, влияющих на уродинамику и воспалительный ответ, а также применение цитостатических покрытий, позволяющих снизить риск гиперпластических и воспалительных изменений слизистой. Современные биоинженерные технологии и цифровые инструменты – мобильные приложения, регистры и системы напоминания – значительно повышают надежность контроля за сроками стентирования, своевременностью их замены и удаления (профилактика «забытых стентов»). Развитие персонализированных протоколов профилактики с учетом длительности стентирования, метаболического статуса и онкологического профиля пациента представляет собой важное направление современной урологической практики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инкрустация мочеточниковых стентов остается значимым клиническим осложнением, особенно у онкологических пациентов, нуждающихся в длительном дренировании. Решение данной проблемы требует комплексного подхода. Современные разработки в области материалов для стентов, а также использование медикаментозных и физических методов профилактики, дают надежду на снижение частоты инкрустации и улучшение качества жизни пациентов. Однако несмотря на достижения в этих областях, необходимо продолжать исследования в целях создания оптимальных стентов, которые бы сочетали в себе максимальную эффективность, биосовместимость и безопасность, а также внедрить персонализированные алгоритмы профилактики в клиническую практику. ☐

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Комяков Б.К., Гулиев Б.Г. Внутреннее дренирование верхних мочевыводящих путей при опухолевых обструкциях мочеточников. *Онкоурология* 2010;6(2):78-83. [Komjakov B.K., Guliev B.G. Internal drainage of the upper urinary tract in case of tumor ureteral obstruction. *Onkourologiya = Oncurology* 2010;6(2):78-83 (In Russian)]. <https://doi.org/10.17650/1726-9776-2010-6-2-78-83>.
2. Мартов А.Г., Ергаков Д.В., Новиков А.Б. Современные возможности улучшения качества жизни пациентов с внутренними стентами. *Урология* 2018;2:134-40. [Martov A.G., Ergakov D.V., Novikov A.B. Modern approaches to improving quality of life in patients with internal stents. *Urologiya = Urology* 2018;2:134-140. (In Russian)]. <https://doi.org/10.18565/urology.2018.2.134-40>.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

3. Tomer N, Garden E, Small A, Palese M. Ureteral stent encrustation: epidemiology, pathophysiology, management and current technology. *J Urol* 2020;203(3):516-25. <https://doi.org/10.1097/JU.0000000000001343>.
4. Wilson M, Devine D, eds. *Medical Implications of Biofilms*. Cambridge: Cambridge University Press; 2003. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511546297>.
5. Мартов А.Г., Попов С.В., Обидняк В.М., Гаджиев Н.К., Гусейнов Р.Г., Горелов Д.С. и др. Дизайн и материалы мочеточниковых стентов: прошлое, настоящее и будущее. *Урология* 2020;1:85-92. [Martov A.G., Popov S.V., Obidnyak V.M., Gadzhiev N.K., Guseynov R.G., Gorelov D.S. et al. Design and materials for ureteral stents: past, present and future. *Urologiya = Urology* 2020;1:85-92 (In Russian)]. <https://doi.org/10.18565/urology.2020.1.85-92>.
6. Bauzá JL, Calvó P, Julià F, Guimerà J, Martínez AI, Tienza A, et al. Relationship between urinary parameters and Double-J stent encrustation. *J Clin Med* 2023;12(15):5149. <https://doi.org/10.3390/jcm1215149>.
7. Алоян А.А., Горготцкий И.А., Корбина Н.С., Бритов В.П., Семенякин И.В., Шкарупа Д.Д. и др. Биодеградируемые мочеточниковые стенты: современное состояние проблемы. *Вестник урологии* 2024;12(2):76-86. [Aloyan A.A., Gorgotsky I.A., Korbina N.S., Britov V.P., Semenyakin I.V., Shkarupa D.D. et al. Biodegradable ureteral stents: current state-of-the-art. *Vestnik urologii = Urology Herald* 2024;12(2):76-86. (In Russian)]. <https://doi.org/10.21886/2308-6424-2024-12-2-76-86>.
8. Canales BK, Higgins L, Markowski T, Anderson L, Li Qin A, Monga M. Presence of five conditioning film proteins are highly associated with Early Stent Encrustation. *J Endourol* 2009;23(9):1437-42. <https://doi.org/10.1089/end.2009.0389>.
9. Цуканов А.Ю., Ахметов Д.С., Новиков А.А., Негров Д.А., Путинцева А.Р. Профилактика инкрустации и образования биопленок на поверхности мочеточникового стента. Часть 1. *Экспериментальная и клиническая урология* 2020;(3):176-81. [Tsukanov A.Yu., Akhmetov D.S., Novikov A.A., Negrov D.A., Putintseva A.R. Prevention of encrustation and biofilm formation on the ureteral stent surface. Part 1. *Экспериментальная и клиническая урология* = *Experimental and Clinical Urology* 2020;(3):176-81. (In Russian)]. <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2020-13-3-176-181>.
10. Sighinolfi MC, Sighinolfi GP, Galli E, Micali S, Ferrari N, Mofferdin A, et al. Chemical and mineralogical analysis of ureteral stent encrustation and associated risk factors. *Urology* 2015;86(4):703-6. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2015.05.015>.
11. Burr RG, Nuseibeh IM. Urinary catheter blockage depends on urine pH, calcium and rate of flow. *Spinal Cord* 1997;35(8):521-5. <https://doi.org/10.1038/sj.sc.3100424>.
12. Torrecilla C, Fernández-Concha J, Cansino JR, Mainez JA, Amón JH, Costas S, et al. Reduction of ureteral stent encrustation by modulating the urine pH and inhibiting the crystal film with a new oral composition: a multicenter, placebo controlled, double blind, randomized clinical trial. *BMC Urol* 2020;20:65. <https://doi.org/10.1186/s12894-020-00633-2>.
13. Wu YX, Choi EJ, Vu AA, Jiang P, Ali SN, Patel RM, et al. Comparison of ureteral stent biomaterials: encrustation profile in lithogenic artificial urine models. *ACS Omega* 2023;8(32):29003-11. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c01800>.
14. Gleeson MJ, Glueck JA, Feldman L, Griffith DP, Noon GP. Comparative in vitro encrustation studies of biomaterials in human urine. *ASAIO Trans* 1989;35(3):495-8. <https://doi.org/10.1097/00002480-198907000-00104>.
15. Buhmann MT, Abt D, Nolte O, Neu TR, Stremmel S, Albrich WC, et al. Encrustations on ureteral stents from patients without urinary tract infection reveal distinct urotypes and a low bacterial load. *Microbiome* 2019;7(1):60. <https://doi.org/10.1186/s40168-019-0674-x>.
16. Bouzidi H, Traxer O, Doré B, Amiel J, Hadjadj H, Conort P, et al. Characteristics of encrustation of ureteric stents in patients with urinary stones. *Progrès en Urologie* 2008;18(4):230-7. <https://doi.org/10.1016/j.purol.2008.02.004>.
17. Calvó P, Bauza JL, Julià F, Guimerà J, Pieras EC, Costa-Bauzá A, et al. Characterization of deposits on double J stents. *Comptes Rendus Chimie* 2022;25(S1):425-30. <https://doi.org/10.5802/crheim.107>.
18. Rebl H, Renner J, Kram W, Springer A, Fritsch N, Hansmann H, et al. Prevention of encrustation on ureteral stents: which surface parameters provide guidance for the development of novel stent materials? *Polymers* 2020;12(3):558. <https://doi.org/10.3390/polym12030558>.
19. Kawahara T, Ito H, Terao H, Yoshida M, Matsuzaki J. Ureteral stent encrustation, incrustation, and coloring: morbidity related to indwelling times. *J Endourol* 2012;26(2):178-82. <https://doi.org/10.1089/end.2011.0385>.
20. Yoshida T, Takemoto K, Sakata Y, Matsuzaki T, Koito Y, Yamashita S, et al. A randomized clinical trial evaluating the short-term results of ureteral stent encrustation in urolithiasis patients undergoing ureteroscopy: micro-computed tomography evaluation. *Sci Rep* 2021;11(1):10337. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89808-x>.
21. Чепуров А.К., Зенков С.С., Мамаев Н.Э., Пронкин Е.А. Длительное дренирование мочеточниковых стентами: современное состояние вопроса и перспективы. *Андрология и генитальная хирургия* 2009;(2):32-40. [Chepurov A.K., Zenkov S.S., Mamaev N.E., Pronkin E.A. Long-term drainage using ureteral stents: current state and prospects. *Andrologiya i genital'naya khirurgiya = Andrology and Genital Surgery* 2009;(2):32-40. (In Russian)].
22. Pollak JS, Rosenblatt MM, Egglein TK, Dickey KW, Glickman M. Treatment of ureteral obstructions with the Wallstent endoprosthesis: preliminary results. *J Vasc Interv Radiol* 1995;6(3):417-25. [https://doi.org/10.1016/s1051-0443\(95\)72833-0](https://doi.org/10.1016/s1051-0443(95)72833-0).
23. Tunney MM, Keane PF, Gorman SP. Assessment of urinary tract biomaterial encrustation using a modified Robbins device continuous flow model. *J Biomed Mater Res* 1997;38(2):87-93. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4636\(199722\)38:2<87::AID-JBM2>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4636(199722)38:2<87::AID-JBM2>3.0.CO;2-C).
24. Venkatesan N, Shroff S, Jayachandran K, Doble M. Polymers as ureteral stents. *J Endourol* 2010;24(2):191-8. <https://doi.org/10.1089/end.2009.0516>.
25. Hofmann R, Hartung R. Ureteral stents – materials and new forms. *World J Urol* 1989;7:154-157. <https://doi.org/10.1007/BF01637374>.
26. Traxer O, Letendre J, Cloutier J, Daudon M, Kleinclauss F, Doizi S, et al. Effects of silicone hydrocoated double loop ureteral stent (DJ) on symptoms and quality of life in patients undergoing F-URS for kidney stone: Final results of a prospective randomized multicentre clinical study. *Eur Urol Suppl* 2019;18(1):e198-e199. [https://doi.org/10.1016/S1569-9056\(19\)30147-2](https://doi.org/10.1016/S1569-9056(19)30147-2).
27. Gadzhiev N, Gorelov D, Malkhasyan V, Akopyan G, Harchelava R, Mazurenko D, et al. Comparison of silicone versus polyurethane ureteral stents: a prospective controlled study. *BMC Urol* 2020;20(1):10. <https://doi.org/10.1186/s12894-020-0577-y>.
28. Цуканов А.Ю., Ахметов Д.С., Новиков А.А., Негров Д.А., Путинцева А.Р. Профилактика инкрустации и образования биопленок на поверхности мочеточникового стента (обзор литературы). Часть 2. Альтернативные материалы для изготовления внутренних дренажей. Физические методы профилактики инкрустации и формирования биопленок на поверхности мочеточникового стента. *Экспериментальная и клиническая урология* 2020;(4):132-8. [Tsukanov A.Yu., Akhmetov D.S., Novikov A.A., Negrov D.A., Putintseva A.R. Prevention of encrustation and biofilm formation on the ureteral stent surface (literature review). Part 2. Alternative materials for internal drainage. Physical methods of preventing encrustation and biofilm formation on the ureteral stent surface. *Экспериментальная и клиническая урология = Experimental and Clinical Urology* 2020;(4):132-138. (In Russian)]. <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2020-13-4-132-138>.
29. Hadachik BA, Paterson RF, Fazli L, Clinkscales KW, Shalaby SW, Chew BH. Investigation of a novel degradable ureteral stent in a porcine model. *J Urol* 2008;180(3):1161-6. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2008.05.003>.
30. Несторов С.Н., Ханалиев Б.В., Тевлин К.П., Барсегян А.Г., Косарев Е.И., Авакян С.К. Мочеточниковые стенты: в поисках рационального выбора. *Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова* 2020;15(2):120-5. [Nesterov S.N., Khanaliev B.V., Tevlin K.P., Barsegyan A.G., Kosarev E.I., Avakyan S.K. Ureteral stents: in search of a rational choice. *Vestnik Natsional'nogo mediko-khirurgicheskogo Tsentra im. N.I. Pirogova = Bulletin of the N.I. Pirogov National Medical and Surgical Center* 2020;15(2):120-5. (In Russian)]. <https://doi.org/10.25881/BPNMSC.2020.24.98.021>.
31. Wang X, Zhang L, Chen Q, Hou Y, Hao Y, Wang C, et al. A nanostructured degradable ureteral stent fabricated by electrospinning for upper urinary tract reconstruction. *J Nanosci Nanotechnol* 2015;15(12):9899-904. <https://doi.org/10.1166/jnn.2015.10747>.
32. Zhu Y, Yang K, Cheng R, Xiang Y, Yuan T, Cheng Y, et al. The current status of biodegradable stent to treat benign luminal disease. *Materials Today* 2017;20(9):516-29. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2017.05.002>.
33. Zong X, Ran S, Kim KS, Fang D, Hsiao BS, Chu B. Structure and morphology changes during in vitro degradation of electrospun poly(glycolide-co-lactide) nanofiber membrane. *Biomacromolecules* 2003;4(2):416-23. <https://doi.org/10.1021/bm0257170>.
34. Khandwekar AP, Doble M. Physicochemical characterisation and biological evaluation of polyvinylpyrrolidone-iodine engineered polyurethane (Tecoflex®). *J Mater Sci Mater Med* 2011;22(5):1231-46. <https://doi.org/10.1007/s10856-011-4285-8>.
35. Stickler DJ, Evans A, Morris N, Hughes G. Strategies for the control of catheter encrustation. *Int J Antimicrob Agents* 2002;19(6):499-506. [https://doi.org/10.1016/s0924-8579\(02\)00091-2](https://doi.org/10.1016/s0924-8579(02)00091-2).
36. Корган М.И., Мойсяк Я.Г., Шкодкин С.В., Сайдулаев Д.А., Идашкин Ю.Б. Эффективность использования стентов сnanoструктурным покрытием при трансплантации почки (предварительные результаты). *Урология* 2015;1:58-61 [Kogan M.I., Moisyuk Ya.G., Shkodkin S.V., Saidulaev D.A., Idashkin Yu. B. Effectiveness of ureteral stents with nanostructured coating in renal transplantation (preliminary results). *Urologija=Urology* 2015;1:58-61. (In Russian)]. <https://urologijournal.ru/ru/archive/article/30816>.
37. Cadieux PA, Chew BH, Nott L, Seney S, Elwood CN, Wignall GR, et al. Use of tricosan-eluting ureteral stents in patients with long-term stents. *J Endourol* 2009;23(7):1187-94. <https://doi.org/10.1089/end.2008.0437>.
38. Mendez-Probst CE, Gonneau LW, MacDonald KW, Nott L, Seney S, Elwood CN, et al. The use of tricosan eluting stents effectively reduces ureteral stent symptoms: a prospective randomized trial. *BJU Int* 2012;110(5):749-54. <https://doi.org/10.1111/j.1464-410X.2011.10903.x>.
39. Laube N, Kleinen L, Bradenahl J, Meissner A. Diamond-like carbon coatings on ureteral stents – a new strategy for decreasing the formation of crystalline bacterial biofilms? *J Urol* 2007;177(5):1923-7. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2007.01.016>.
40. Watterson JD, Cadieux PA, Beiko DT, Cook AJ, Burton JP, Harbottle RR, et al. Oxalate-degrading enzymes from Oxalobacter formigenes: a novel device coating to reduce urinary tract biomaterial-related encrustation. *J Endourol* 2003;17(5):269-74. <https://doi.org/10.1089/08927790322145431>.
41. Zupkas P, Parsons CL, Percival C, Monga M. Pentosanpolysulfate coating of silicone reduces encrustation. *J Endourol* 2000;14(6):483-8. <https://doi.org/10.1089/end.2000.14.483>.
42. Pechey A, Elwood CN, Wignall GR, Dalsin JL, Lee BP, Vanjecek M, et al. Anti-adhesive coating and clearance of device associated uropathogenic Escherichia Coli cystitis. *J Urol* 2009;182(4):1628-36. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2009.06.008>.
43. John T, Rajpurkar A, Smith G, Fairfax M, Triest J. Antibiotic pretreatment of hydrogel ureteral stent. *J Endourol* 2007;21(10):1211-6. <https://doi.org/10.1089/end.2007.9904>.
44. Barreiro DM, Losada JB, Montiel FC, Lafos N. Urinary incontinence and urosepsis due to for-

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- gotten ureteral stent. *Urol Case Rep* 2016;8:63-5. <https://doi.org/10.1016/j.eucr.2016.07.004>.
45. Juliebø-Jones P, Pietropaolo A, Esoy MS, Ulvik Ø, Beisland C, Bres-Niewada E, et al. Endourological management of encrusted ureteral stents: an up-to-date guide and treatment algorithm on behalf of the European Association of Urology Young Academic Urology Urolithiasis Group. *Cent European J Urol* 2021;74(4):571-8. <https://doi.org/10.5173/ceju.2021.0264>.
46. Encarnación Castellano C, Canós Nebot A, Caballero Romeu JP, Soria F, Galán Llopis JA. Forgotten ureteral stent syndrome. In: Soria F, Rako D, de Graaf P, eds. *Urinary Stents*. Cham: Springer; 2022. p. 99-110. https://doi.org/10.1007/978-3-031-04484-7_10.
47. Acosta-Miranda AM, Milner J, Turk TMT. The FECal Double-J: a simplified approach in the management of encrusted and retained ureteral stents. *J Endourol* 2009;23(3):409-15. <https://doi.org/10.1089/end.2008.0214>.
48. Цуканов А.Ю., Ахметов Д.С., Блесман А.И., Рогачев Е.А. Влияние поверхности мочеточникового стента на инкрустацию и формирование биопленок. *Урология* 2018;2:40-5. [Tsukanov A.Yu., Akhmetov D.S., Blesman A.I., Rogachev E.A. The impact of ureteral stent surface on encrustation and biofilm formation. *Urologiia = Urology* 2018;2:40-5. (In Russian)]. <https://doi.org/10.18565/urology2018.2.40-45>.
49. Liu Z, Yan M, Naji Y, Qiu J, Wang H, Lin Y, Dai Y. Can Double J stent encrustation be predicted by risk analysis and nomogram? A retrospective case-control study. *Medicine* 2024;103(2):e35303. <https://dx.doi.org/10.1097/MD.00000000000035303>.
50. Tavoosian A, Rahimnia A, Tehranipour E, Khajavi A, Tamehri Zadeh SS, Abedi Yarandi V. Potassium citrate as a preventive treatment for double-J stent encrustation: a randomized clinical trial. *Translational Research in Urology* 2022;4(1):35-40. <https://doi.org/10.22034/TRU.2022.330908.1103>.
51. Lee YJ, Huang KH, Yang HJ, Chang HC, Chen J, Yang TK. Solifenacin improves double-J stent-related symptoms in both genders following uncomplicated ureteroscopic lithotripsy. *Urolithiasis* 2013;41(3):247-52. <https://doi.org/10.1007/s00240-013-0554-y>.
52. Liatsikos EN, Kagadis GC, Barbalias GA, Siablis D. Ureteral metal stents: a tale or a tool? *J Endourol* 2005;19(8):934-9. <https://doi.org/10.1089/end.2005.19.934>.
53. Kallidoni P, Kitrou P, Karnabatidis D, Kyriazis I, Kalogeropoulou C, Tsamandas A, et al. Evaluation of zotarolimus-eluting metal stent in animal ureters. *J Endourol* 2011;25(10):1661-7. <https://doi.org/10.1089/end.2011.0308>.
54. Wolf JS Jr, Bennett CJ, Dmochowski RR, Hollenbeck BK, Pearle MS, Schaeffer AJ, et al. Best practice policy statement on urologic surgery antimicrobial prophylaxis. *J Urol* 2008;179(4):1379-90. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2008.01.068>.
55. Multanen M, Tammela TL, Laurila M, Seppälä J, Välimäki T, Törmälä P, et al. Biocompatibility, encrustation and biodegradation of ofloxacin and silver nitrate coated poly-L-lactic acid stents in rabbit urethra. *Urological Research* 2002;30(4):227-32. <https://doi.org/10.1007/s00240-002-0252-7>.
56. Phuengkham H, Nasongkla N. Development of antibacterial coating on silicone surface via chlorhexidine-loaded nanospheres. *J Mater Sci: Mater Med* 2015;26(2):78. <https://doi.org/10.1007/s10856-015-5418-2>.
57. Цуканов А.Ю., Ахметов Д.С., Новиков А.А., Негров Д.А., Путинцева А.Р., Семикина С.П. Определение оптимальных точек экстракорпорального акустического воздействия ультразвуковым амплитудно-модулированным сигналом на мочеточниковый стент с целью профилактики его инкрустации в эксперименте. *Вестник урологии* 2021;9(3):70-8. [Tsukanov A.Yu., Akhmetov D.S., Novikov A.A., Negrov D.A., Putintseva A.R., Semikina S.P. Extracorporeal ultrasound exposure by the low-frequency acoustic amplitude-modulated signal on a ureteral stent for preventing its encrustation: experimental determination of optimal application points. *Vestnik urologii = Urology Herald* 2021;9(3):70-8. (In Russian)]. <https://doi.org/10.21886/2308-6424-2021-9-3-70-78>.
58. Damiano R, Autorino R, De Sio M, Cantiello F, Quarto G, Perdonà S, et al. Does the size of ureteral stent impact urinary symptoms and quality of life? A prospective randomized study. *European Urology* 2005;48(4):673-8. <https://doi.org/10.1016/j.euro.2005.06.006>.
59. Beiko DT, Watterson JD, Knudsen BE, Nott L, Pautler SE, Brock GB, et al. Double-blind randomized controlled trial assessing the safety and efficacy of intravesical agents for ureteral stent symptoms after extracorporeal shockwave lithotripsy. *J Endourol* 2004;18(8):723-30. <https://doi.org/10.1089/end.2004.18.723>.
60. Gupta M, Patel T, Xavier K, Maruffo F, Lehman D, Walsh R, et al. Prospective randomized evaluation of periureteral botulinum toxin type A injection for ureteral stent pain reduction. *J Urol* 2010;183(2):598-602. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2009.10.021>.
61. Гаджиев Н.К., Бровкин С.С., Григорьев В.Е., Дмитриев В.В., Малхасян В.А., Шкарупа Д.Д. и др. Метафилаксия мочекаменной болезни: новый взгляд, современный подход, реализация в мобильном приложении. *Урология* 2017;(1):124-9. [Gadzhiev N.K., Brovkin S.S., Grigorev V.E., Dmitriev V.V., Malkhasyan V.A., Shkarupa D.D. et al. Metaphylaxis of urolithiasis: new look, modern approach, implementation in a mobile application. *Urologiia = Urology* 2017;(1):124-9. (In Russian)]. <https://doi.org/10.18565/urol.2017.1.124-129>.
62. Ather MH, Talati J, Biyabani R. Physician responsibility for removal of implants: the case for a computerized program for tracking overdue double-J stents. *Tech Urol* 2000;6(3):189-92.

Сведения об авторах:

Рахматов А.А. – аспирант кафедры урологии и оперативной нефрологии с курсом онкоурологии Российского университета дружбы народов; Москва, Россия

Монаков Д.М. – к.м.н., старший научный сотрудник отдела онкоурологии «НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского» Минздрава России; доцент кафедры урологии и оперативной нефрологии с курсом онкоурологии Российского университета дружбы народов; Москва, Россия; РИНЦ Author ID 995385; <https://orcid.org/0000-0002-9676-1802>

Грицкевич А.А. – д.м.н., отделением онкоурологии и урологии «НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского» Минздрава России; профессор кафедры урологии и оперативной нефрологии с курсом онкоурологии Российского университета дружбы народов; Москва, Россия; РИНЦ Author ID 816947; <https://orcid.org/0000-0002-5160-925X>

Байтман Т.П. – к.м.н., научный сотрудник отделения онкоурологии и урологии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского» Минздрава России; ассистент кафедры урологии и оперативной нефрологии с курсом онкоурологии Российского университета дружбы народов; Москва, Россия; РИНЦ Author ID 1064032; <https://orcid.org/0000-0002-3646-1664>

Костин А.А. – д.м.н., чл.-корр. РАН, профессор РАН, первый проректор – проректор по научной работе Российской университета дружбы народов, заведующий кафедрой урологии и оперативной нефрологии с курсом онкоурологии Российской университета дружбы народов; Москва, Россия; РИНЦ Author ID 193454; <https://orcid.org/0000-0002-0792-6012>

Вклад авторов:

Рахматов А.А. – поиск, анализ и систематизация публикаций по теме исследования, написание текста статьи, 50%
Монаков Д.М. – идея и дизайн исследования, написание текста статьи, 15%
Грицкевич А.А. – дизайн исследования, общее руководство работой, 15%
Байтман Т.П. – поиск, анализ и систематизация публикаций по теме исследования, 10%
Костин А.А. – общее руководство работой, 10%

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Статья подготовлена без финансовой поддержки.

Статья поступила: 11.02.25

Результаты рецензирования: 17.03.25

Исправления получены: 10.04.25

Принята к публикации: 15.05.25

Information about authors:

Рахматов А.А. – постградуатант кафедры урологии и хирургии почек РУДН; Москва, Россия

Монаков Д.М. – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник кафедры онкоурологии РУДН; доцент кафедры урологии и хирургии почек РУДН; РИНЦ Author ID 995385; <https://orcid.org/0000-0002-9676-1802>

Грицкевич А.А. – доктор медицинских наук, заведующий кафедрой урологии и хирургии почек РУДН; профессор кафедры урологии и хирургии почек РУДН; РИНЦ Author ID 816947; <https://orcid.org/0000-0002-5160-925X>

Байтман Т.П. – кандидат медицинских наук, научный сотрудник кафедры онкоурологии и урологии РУДН; профессор кафедры онкоурологии и урологии РУДН; РИНЦ Author ID 1064032; <https://orcid.org/0000-0002-3646-1664>

Костин А.А. – доктор медицинских наук, член-корреспондент РАН, профессор кафедры урологии и хирургии почек РУДН; профессор кафедры онкоурологии и урологии РУДН; РИНЦ Author ID 193454; <https://orcid.org/0000-0002-0792-6012>

Authors' contributions:

Рахматов А.А. – поиск, анализ и систематизация публикаций на тему исследования, написание текста статьи, 50%
Монаков Д.М. – идея и дизайн исследования, написание текста статьи, 15%
Грицкевич А.А. – дизайн исследования, общее руководство работой, 15%
Байтман Т.П. – поиск, анализ и систематизация публикаций на тему исследования, 10%
Костин А.А. – общее руководство работой, 10%

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

Financing. The article was prepared without financial support.

Received: 11.02.25

Peer review: 17.03.25

Corrections received: 10.04.25

Accepted for publication: 15.05.25