

Хирургические клеи и герметики в современной урологической практике

Широкое внедрение малоинвазивных хирургических технологий, таких как лапароскопия и робот-ассистированная хирургия, фундаментально изменило подход к выполнению сложных урологических вмешательств. Стремление к максимальному сохранению функционирующей паренхимы органов, сокращению времени тепловой ишемии и снижению частоты послеоперационных осложнений стимулировало активное интеграционное внедрение биохимических материалов.



1. Место хирургических клеев и герметиков в урологии

В современной операционной урологии гемостатические агенты, герметики и хирургические клеи перестали выполнять исключительно вспомогательную роль, превратившись в самостоятельный технологический элемент.



Классификация данных материалов основывается на их первичном механизме действия и физико-химических свойствах.

- Гемостатики стимулируют и ускоряют естественный коагуляционный каскад. Тканевые герметики формируют физический непроницаемый барьер, предотвращающий утечку мочи, крови или лимфы.
- Хирургические клеи (адгезивы) обладают высокой прочностью на разрыв и способны удерживать сопоставленные края тканей под воздействием механического напряжения.

В практической работе уролога большинство используемых составов демонстрируют комбинированное действие, сочетая гемостатический, адгезивный и герметизирующий эффекты.

2. Физико-химические свойства и механизмы действия основных классов адгезивов

2.1. Фибриновые клеи и комбинированные гемостатические матрицы

Фибриновые клеи воспроизводят заключительные этапы физиологического каскада свертывания крови. Препараты данной группы поставляются в виде двухкомпонентных систем, смешиваемых непосредственно в момент нанесения. Первый компонент содержит концентрированный фибриноген, фактор XIII и фибронектин, второй – тромбин и ионы кальция Ca^{2+} .

При контакте компонентов тромбин расщепляет молекулы фибриногена с образованием фибрин-мономеров, которые спонтанно полимеризуются в нестабильный фибриновый гель. Одновременно тромбин активирует фактор XIII, который формирует поперечные ковалентные связи между молекулами фибрина, превращая гель в прочный, эластичный фибриновый сгусток (рис. 1). ■

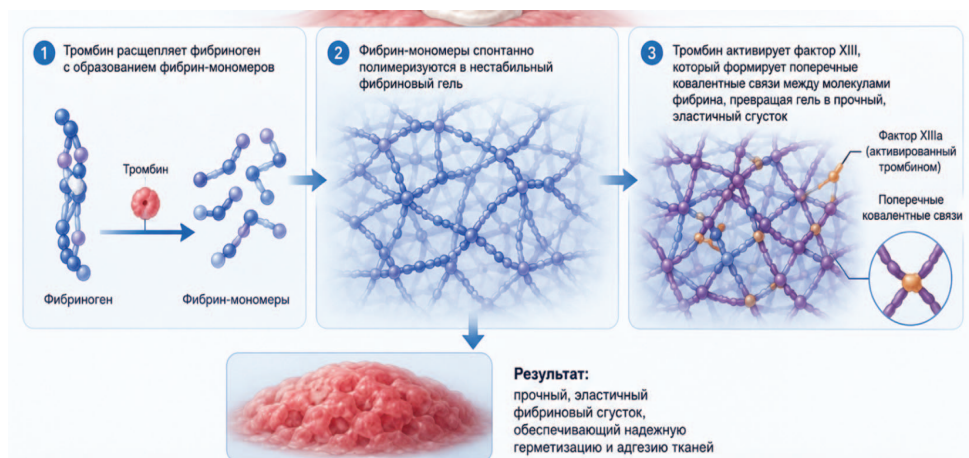


Рис. 1. Механизм действия фибринового клея

Ключевым преимуществом фибриновых систем является их абсолютная биосовместимость, полная биodeградация и независимость от коагуляционного статуса пациента. Фибриновый сгусток формируется даже при системных коагулопатиях или на фоне приема антиагрегантов и антикоагулянтов.

Развитием этой концепции стали комбинированные коллагеновые пластины, пропитанные сухими компонентами фибриногена и тромбина (TachoSil), которые активируются при контакте с раневым экссудатом или кровью, формируя адгезивный слой непосредственно на поверхности органа.

2.2. Желатино-тромбиновые матричные системы

Представителем этой категории является матрикс FloSeal, представляющий собой суспензию гранул сшитого свиного желатина, гидратированных в растворе человеческого или бычьего тромбина. Механизм действия FloSeal основан на синергизме физического и биохимического факторов.

При контакте с кровью желатиновые гранулы связывают жидкость и набухают на 10–20%, оказывая мягкое тампонирующее действие на микрососуди-

стое русло в глубине раневого дефекта. Высокая локальная концентрация тромбина мгновенно превращает эндогенный фибриноген крови пациента в фибрин, запечатывая кровоточащие сосуды внутри образовавшейся структуры (рис. 2).

FloSeal® – желатино-тромбиновый матрикс

Суспензия гранул бычьего желатина, гидратированных в растворе рекомбинантного человеческого тромбина.



Гранулы бычьего желатина в растворе тромбина

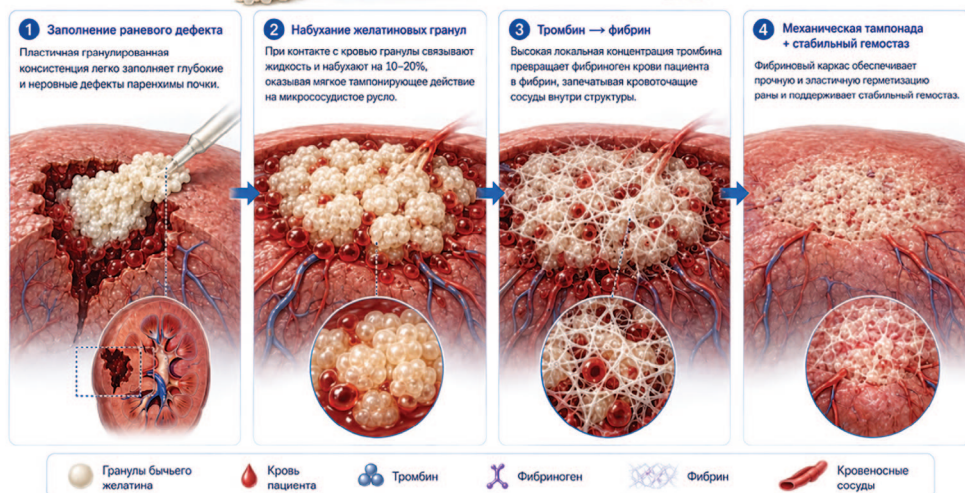


Рис. 2. Механизм действия желатино-тромбиновой матричной системы

Благодаря пластичной гранулированной консистенции желатино-тромбиновый матрикс легко заполняет глубокие и неровные дефекты паренхимы почки, возникающие после энуклеации опухолевых узлов.

2.3. Синтетические цианоакрилатные адгезивы

Цианоакрилаты представляют собой жидкие мономеры, способные к мгновенной анионной полимеризации в присутствии гидроксил-ионов, ■

содержащихся в воде, крови и тканевой жидкости. Процесс полимеризации носит экзотермический характер и приводит к образованию прочной, жесткой полимерной пленки.

Молекулярная структура определяет биологические свойства материала. Короткоцепочечные мономеры (метил- и этил-цианоакрилаты) быстро распадаются в тканях с выделением формальдегида и токсичных продуктов, вызывая выраженный воспалительный ответ и некроз, в связи с чем их применение во внутренней хирургии запрещено.

Длинноцепочечные соединения (N-бутил-2-цианоакрилат [NBCA] и 2-октил-цианоакрилат [2-OCA]) деградируют медленно, обладают минимальной гистотоксичностью, высокой прочностью на разрыв и выраженной бактериостатической активностью.

Модифицированный клей Glubran 2 представляет собой комбинацию N-бутил-2-цианоакрилата и мономерного метакрилоксисульфолана (NBCA + MS). Соединение MS снижает температуру экзотермической реакции до физиологически безопасного уровня, предотвращая термический ожог подлежащих тканей, и обеспечивает высокую эластичность полимеризованной пленки, сохраняя устойчивость к механическим деформациям.

2.4. Белково-альдегидные композиты и полиэтиленгликолевые гидрогели

Белково-альдегидные клеи (BioGlue) состоят из раствора бычьего сывороточного альбумина (45%) и глутарового альдегида (10%). Глутаровый альдегид выступает в качестве сшивающего агента: его функциональные группы вступают в ковалентные связи с лизиновыми остатками как молекул альбумина, так и белков внеклеточного матрикса и клеточных мембран реципиентной ткани.

Это обеспечивает высочайшую механическую адгезию, однако требует нанесения на полностью сухую поверхность. Избыточное скопление альдегидного

компонента может вызывать локальный фиброз и воспаление, что ограничит применение материала вблизи нервных стволов и мочеточников.

Синтетические гидрогели на основе полиэтиленгликоля (ПЭГ) и комбинированные ОРЦ-ПЭГ пластыри (Veriset) работают за счет химического сшивания гидрофильных полимеров с нуклеофильными группами тканевых белков.

Инновационный пластырь GATT-Patch, созданный на основе функционализированного поли(2-оксазолина) с реактивными группами N-гидроксисукцинимидом (NHS-POx), обеспечивает мгновенное ковалентное связывание с раневой поверхностью без необходимости термической или фотоактивации. Такие материалы формируют водонепроницаемую эластичную мембрану, устойчивую к гидростатическому давлению мочи и крови, и полностью рассасываются в течение 4 недель.

3. Сравнительный анализ физико-химических и эксплуатационных параметров

В таблице 1 ниже приведена систематизированная характеристика основных биохирургических материалов, применяемых в урологической практике. ■

Класс адгезива / Коммерческое наименование	Действующие вещества и химическая основа	Время полимеризации и схватывания	Механическая прочность и герметизирующая способность	Срок полной биодеградации	Специальные требования к нанесению и ограничения
Фибриновые клеи (Tisseel, Evicel)	Человеческий фибриноген, тромбин, фактор XIII,	30–60 секунд	Умеренная прочность, высокая эластичность и водонепроницаемость	1–2 недели	Нанесение на влажное поле; независим от коагулопатии. Риск аллергии на белки плазмы
Фибриновые пластины (TachoSil)	Коллагеновая губка с сухим фибриногеном и тромбином	3–5 минут (требуется экспозиция под давлением)	Высокая герметичность, хорошая механическая поддержка паренхимы	4–12 недель	Требуется непрерывного механического прижатия влажным тупфером в течение 3–5 мин ■

Класс адгезива / Коммерческое наименование	Действующие вещества и химическая основа	Время полимеризации и схватывания	Механическая прочность и герметизирующая способность	Срок полной биодеградации	Специальные требования к нанесению и ограничения
Желатино-тромбиновые матрицы (FloSeal)	Сшитый свиной желатин, бычий/человеческий тромбин	1–2 минуты	Высокая гемостатическая активность за счет объемного набухания гранул на 10–20%	6–8 недель	Требует контакта с активным током крови; не эффективен на абсолютно сухой ране
Модифицированные цианоакрилаты (Glubran 2)	N-бутил-2-цианоакрилат + метакрилокси-сульфолан	5–10 секунд (схватывание), 60 секунд (полимеризация)	Экстремально высокая прочность на разрыв, бактериостатический эффект	От 2 до 6 месяцев	Наносится тонким слоем; избегать попадания внутрь магистральных сосудов
Белково-альдегидные клеи (BioGlue)	Бычий сывороточный альбумин (45%), глутаровый альдегид (10%)	20–30 секунд (полная прочность через 2 минуты)	Высочайшая жесткость и механическая фиксация	2–3 месяца	Требует сухой поверхности; риски фиброза при контакте с мочеточником и нервами
ПЭГ-гидрогели и ОРЦ-пластыри (Veriset, GATT-Patch)	Окисленная регенерированная целлюлоза, ПЭГ, NHS-POx	30–60 секунд	Высокая герметичность для мочи при гидростатическом давлении	4 недели	Синтетический состав; отсутствие риска передачи гемоконтактных инфекций

4. Доказательная база и клинические рекомендации мировых урологических сообществ

4.1. Органосохраняющие операции при раке почки

Согласно актуальным клиническим рекомендациям Европейской ассоциации урологов (EAU) и Американской урологической ассоциации (AUA), резекция почки (органосохраняющая операция) признана стандартом лечения



локализованного рака почки стадий T1a–T1b. Основными хирургическими осложнениями резекции почки остаются геморрагические проявления и формирование мочевых свищей вследствие повреждения элементов чашечно-лоханочной системы.

Традиционная техника реконструкции ложа опухоли требует выполнения двухслойного шва паренхимы, что неизбежно приводит к сдавливанию здоровой паренхимы почки, локальной ишемии и потере функционирующих нефронов. Внедрение современных гемостатических матриксов и герметиков позволило пересмотреть технические аспекты органосохраняющих вмешательств.

Применение гемостатических матриксов (FloSeal), фибриновых пластин (TachoSil) и синтетических пластырей (Veriset) облегчает переход к бесшовным (sutureless) методам или технике однослойного шва без глубокого прошивания паренхимы. Рандомизированные и когортные исследования демонстрируют, что использование Veriset и GATT-Patch при робот-ассистированной резекции почки (RAPN) способствует сокращению времени тепловой ишемии (WIT) в среднем на 5–6 минут и снижает общий объем кровопотери без увеличения частоты гематом или мочевого экстравазации.

Однако экспертные группы EAU и AUA подчеркивают, что аппликация хирургических клеев и герметиков является вспомогательным методом гемостаза и герметизации. Топические агенты не могут полностью заменить выборочное прошивание видимых поврежденных крупных сосудов и чашечек. Использование только адгезивов без шовной фиксации допустимо лишь при небольших экзофитных опухолях с низким индексом нефрометрической шкалы (RENAL/PADUA ≤ 6).

4.2. Реконструктивная урология и детская урогинекология

Применение тканевых адгезивов и герметиков при реконструктивных вмешательствах на мочевыводящих путях направлено на предотвращение ■

микроподтекания мочи, стимулирование заживления ран первичным натяжением и профилактику рубцовых стенозов.

Систематический обзор и метаанализ исследований по использованию тканевых герметиков при коррекции гипоспадии у детей показал, что нанесение фибринового клея или цианоакрилатного адгезива поверх линии уретрального шва формирует водонепроницаемый барьер и достоверно снижает частоту образования уретрокожных свищей – наиболее распространенного осложнения уретропластики. В то же время данные обзоров указывают на отсутствие влияния герметиков на частоту развития стеноза меатуса или расхождения краев головки полового члена.

В хирургии верхних мочевыводящих путей при выполнении уретероуретроанастомоза или пиелопластики укрепление зоны шва фибриновыми или ПЭГ-гидрогелевыми герметиками обеспечивает полную герметичность анастомоза при гидростатическом давлении мочи до 20 мм рт. ст., не выявляя при этом негативного влияния на гидродинамику и не вызывая увеличения сопротивления оттоку мочи.

4.3. Урологическая травма и экстренная хирургия

Обновленные руководства EAU и Всемирного общества экстренной хирургии (WSES) по урологической травме отводят ключевую роль неоперативному консервативному ведению пациентов с тупой и проникающей травмой почек I–IV степеней по шкале AAST при условии гемодинамической стабильности.

В ситуациях, требующих хирургического вмешательства по поводу разрывов паренхимы почки, приоритетом является сохранение органа. Использование желатино-тромбиновых матриксов и фибриновых пластин в комбинации с глубокими П-образными швами на гемостатических подкладках позволяет надежно остановить паренхиматозное кровотечение, предотвратить формирование урогематом и избежать выполнения радикальной нефрэктомии у тяжелой категории пациентов.



4.4. Малоинвазивная и эндоваскулярная урология

Синтетические цианоакрилатные клеи нашли новое применение в интервенционной онкоурологии и рентгенохирургии. При выполнении эмболизации простатических артерий (ЭПА) у пациентов с симптоматической доброкачественной гиперплазией предстательной железы (ДГПЖ) использование N-бутил-2-цианоакрилата (NBCA) в смеси с масляными контрастными веществами обеспечивает стойкую и быструю окклюзию микрососудистого русла предстательной железы.

Систематические обзоры клиник подтверждают, что использование клеевых композиций при ЭПА обеспечивает высокие показатели технического успеха, уменьшает время процедуры и лучевую нагрузку. У 83–94% пациентов отмечено стойкое снижение баллов по шкале IPSS, уменьшение объема предстательной железы на 11–40,5% и сохранение эректильной функции при отсутствии специфических осложнений, связанных с нецелевой эмболизацией.

5. Профиль безопасности, специфические осложнения и дифференциальная диагностика

Широкое применение биохирургических материалов требует от уролога четкого понимания потенциальных рисков и специфических послеоперационных лучевых феноменов.

Наиболее значимой клинико-диагностической проблемой является формирование так называемых «хирургических гранул» или гранул инородного тела. При использовании материалов на основе окисленной регенерированной целлюлозы (Surgicel) или сшитого желатина в зоне резекции почки происходит неполное или замедленное рассасывание гемостатического агента с развитием локальной асептической воспалительной реакции.

На контрольных компьютерных томограммах (КТ) и магнитно-резонансных томограммах (МРТ), выполняемых через 3–6 месяцев после операции, эти зоны могут визуализироваться как объемные мягкотканые образования ■

с накоплением контрастного вещества. При выполнении позитрон-эмиссионной томографии (ПЭТ-КТ) гранулемы демонстрируют гиперметаболизм фтор-дезоксиглюкозы, что приводит к ошибочной установке диагноза локального рецидива почечно-клеточного рака.

Для предотвращения необоснованных повторных хирургических вмешательств и биопсий требуется строгое документирование объемов и точных локализаций нанесенных гемостатиков в протоколе операции. При выявлении подозрительного очага в зоне резекции показано динамическое МРТ-наблюдение или выполнение тонкоигольной биопсии до принятия решения о хирургической ревизии.

К другим специфическим рискам относятся:

- Термическое повреждение тканей при неконтролируемой экзотермической реакции немодифицированных цианоакрилатов короткой цепи.
- Развитие местного фиброза и сужения просвета при попадании белково-альдегидных клеев (BioGlue) на стенку мочеоточника или стенки мелких сосудов.
- Инфекционные и аллергические риски, связанные с использованием компонентов плазмы крови человека или бычьего белка, что минимизируется при переходе на полностью синтетические гидрогели и ОРЦ-полимеры.

6. Выводы

- Интеграция хирургических клеев, герметиков и гемостатических агентов в структуру урологических операций позволила оптимизировать хирургические техники и улучшить функциональные результаты лечения пациентов.
- Выбор оптимального агента должен базироваться на учете его биохимиче-

ского профиля, скорости полимеризации и характера раневой поверхности.

- Гемостатические желатино-тромбиновые матриксы и фибриновые пластины остаются средствами выбора при органосохраняющих операциях на почках, позволяя минимизировать ишемическое повреждение паренхимы.
- Фибриновые клеи и модифицированные цианоакрилаты демонстрируют высокую эффективность в реконструктивной урологии и уретропластике, надежно предотвращая формирование мочевых свищей.
- Дальнейшее развитие данной области связано с разработкой полностью синтетических, бесферментных биоматериалов (таких как NHS-POx), обладающих мгновенной ковалентной адгезией и прогнозируемым сроком биodeградации, что откроет новые перспективы для полностью бесшовной малоинвазивной урологии. ■

Шадеркина В.А., уролог, CEO Uroweb.ru

Литература

1. Pushkar DY, Govorov AV, Kolontarev KB. Robot-assisted surgery. Vestn Ross Akad Nauk. 2019;89(5):466–469. <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895466-469>.
2. Kolontarev KB, Govorov AV, Rasner PI, Sheptunov SA, Prilepskaya EA, Maltsev EG, et al. Симуляционное обучение робот-ассистированной хирургии. Урология. 2015;(6):122–129.
3. Пушкарь ДЮ, Говоров АВ, Раснер ПИ, Колонтарев КБ. Роль симуляторов в обучении робот-ассистированной хирургии. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2018;(3):82–88. <https://doi.org/10.17116/hirurgia2018382-88>.
4. Andreev AA, Glukhov AA, Ostroushko AP, Laptieva AYU, Bokov DA, Mikhailov NO, et al. Automated robotic systems in surgical practice. Science and Innovations in Medicine. 2024;9(3):231–236. <https://doi.org/10.35693/SIM540155>.
5. Fukumoto T, Sawada T, Nishida K, Onishi T, Watanabe R, Nishimura K, et al. Evaluation of the new robotic platform HINOTORI™ in urologic robot-assisted surgery: from a comparison with da Vinci® Surgical System in sacro-

colpopexy. *J Clin Med.* 2025;14(9):2954. <https://doi.org/10.3390/jcm14092954>.

6. Wenzel M, Würrschimmel C, Nathan A, Moschovas MC, Wagner C, Callaris G, et al. Robot-assisted salvage prostatectomy: external validation of the EAU selection criteria and identification of the optimal candidate: a Junior ERUS/YAU Collaborative Study. *Prostate.* 2026;86(1):3–11. <https://doi.org/10.1002/pros.70048>.

7. Eastham JA, Barocas DA, Chu CE, Morgans AK, Rodrigues G, Kirkby E, et al. Clinically localized prostate cancer: AUA/ASTRO Guideline Amendment (2026). *J Urol.* 2026;216(1):2–11. <https://doi.org/10.1097/JU.0000000000005060>.

8. Cornford P, Tilki D, van den Bergh RCN, Eberli D, De Meerleer G, De Santis M, et al. EAU-EANM-ESTRO-ESUR-ISUP-SIOG Guidelines on Prostate Cancer. Arnhem: European Association of Urology; 2025.

9. European Association of Urology. EAU Guidelines on Prostate Cancer: Treatment [Internet]. Arnhem: EAU; [cited 2026 Aug 23]. Available from: EAU Guidelines – Treatment.

10. European Association of Urology. EAU Robotic Urology Section [Internet]. Arnhem: EAU; [cited 2026 Aug 23]. Available from: EAU Robotic Urology Section.

11. European Association of Urology. Results of promising nerve-sparing surgery to preserve erectile function [Internet]. Arnhem: EAU; [cited 2026 Aug 23]. Available from: EAU NeuroSAFE material.

12. Федеральная служба по интеллектуальной собственности. Робот-хирург [Internet]. Москва: Роспатент; 2020 Mar 6 [cited 2026 Aug 23]. Available from: Роспатент – Робот-хирург.

13. Бойко А. Российский АСТ – робот-хирург [Internet]. RoboTrends; 2022 May 13 [cited 2026 Aug 23]. Available from: Российский АСТ – робот-хирург.

14. RoboTrends. Участники рынка робот-ассистированных медицинских систем [Internet]. [cited 2026 Aug 23]. Available from: RoboTrends – участники рынка.

15. ММНКЦ им. С.П. Боткина. Пушкарь Дмитрий Юрьевич [Internet]. Москва; [cited 2026 Aug 23]. Available from: Официальная страница Д.Ю. Пушкаря.

16. Научная Россия. «Мы современники робот-ассистированной хирургии». Интервью с главой Московского урологического центра академиком Дмитрием Пушкарем [Internet]. [cited 2026 Aug 23]. Available from: Интервью Д.Ю. Пушкаря.

17. Колонтарев КБ. Робот-ассистированная радикальная простатэктомия [диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук]. Москва; 2015. 306 с.