



URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI JANUBIY OROLBO'YI TIBBIYOT JURNALI

2 - TOM, 5/2- SON. 2026

14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

УДК: 616.617-089.819.1:615.46:669.721

МЕСТНАЯ БИОСОВМЕСТИМОСТЬ И БИОДЕГРАДАЦИЯ МАГНИЕВОГО СПЛАВОВ С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ БИОДЕГРАДИРУЕМЫХ МОЧЕТОЧНИКОВЫХ СТЕНТОВ



Гиясов Шухрат Искандарович

Заведующий кафедрой урологии Ташкентского государственного медицинского университета, д.м.н., профессор.

E-mail: dr.sh.giyasov@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1558-3443>

Нуриддинов Хусниддин Зафариддин угли

младший научный сотрудник, врач-уролог ГУ «Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр урологии».

E-mail: nxzafarovich@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2791-1490>

Кадиров Камол Бахадирович

уролог ГУ «Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр урологии»

E-mail: kamoliddinkadirov1984@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7327-3378>

Рахматиллаев Шохрух Юсуфжонович

врач-уролог частной клиники "CityMed".

E-mail: shoxrux.ra@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4269-8184>

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментальной оценки местной биосовместимости и биodeградации градиентного магниевого сплава Mg-4Zn-0,2Ca и его модификаций с покрытиями AgO и AgO/CaCO₃, предназначенных для создания биodeградируемых мочеточниковых стентов. Исследование выполнено *in vivo* на 6 свиньях с имплантацией образцов в стенку мочевого пузыря и наблюдением в течение 30 суток. Локальную тканевую реакцию оценивали гистологически, а биodeградацию – гравиметрическим методом. Наиболее выраженные воспалительно-деструктивные изменения и максимальная потеря массы отмечены при использовании чистого магния. Легирование цинком и кальцием снижало скорость деградации и выраженность воспаления. Наиболее благоприятные результаты получены для Mg-4Zn-0,2Ca с покрытием AgO/CaCO₃: сохранялась архитектура стенки мочевого пузыря, воспалительная реакция была минимальной, а средняя потеря массы составила 27,65±1,06%. Полученные данные



URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI JANUBIY OROLBO'YI TIBBIYOT JURNALI

2 - TOM, 5/2- SON. 2026

14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

подтверждают перспективность данного материала для дальнейшей разработки биодegradируемых мочеточниковых стентов.

Ключевые слова: мочеточниковый стент; магниевый сплав; биосовместимость; биодegradация; функциональное покрытие.

Abstract. This article presents the results of an experimental evaluation of the local biocompatibility and biodegradation of the gradient magnesium alloy Mg-4Zn-0.2Ca and its modifications with AgO and AgO/CaCO₃ coatings intended for the development of biodegradable ureteral stents. The *in vivo* study was performed in 6 pigs by implanting the samples into the urinary bladder wall, followed by a 30-day observation period. The local tissue response was assessed histologically, whereas biodegradation was evaluated using a gravimetric method. The most pronounced inflammatory and destructive changes and the greatest mass loss were observed with pure magnesium. Alloying with zinc and calcium reduced the degradation rate and severity of inflammation. The most favorable results were obtained for Mg-4Zn-0.2Ca with the AgO/CaCO₃ coating: the architecture of the bladder wall was preserved, the inflammatory response was minimal, and the mean mass loss was 27.65±1.06%. These findings support the potential of this material for the further development of biodegradable ureteral stents.

Keywords: ureteral stent; magnesium alloy; biocompatibility; biodegradation; functional coating.

Annotatsiya. Maqolada bioparchalanuvchi siydik nayi stentlarini yaratishga mo'ljallangan Mg-4Zn-0,2Ca gradientli magniy qotishmasi hamda uning AgO va AgO/CaCO₃ qoplamali modifikatsiyalarining mahalliy biologik mosligi va biodegradatsiyasini eksperimental baholash natijalari keltirilgan. *In vivo* tadqiqot 6 ta cho'chqada namunalarni qovuq devoriga implantatsiya qilish va 30 sutka davomida kuzatish orqali bajarildi. Mahalliy to'qima reaksiyasi gistologik, biodegradatsiya esa gravimetrik usulda baholandi. Eng yaqqol yallig'lanish-destruktiv o'zgarishlar va eng katta massa yo'qotilishi sof magniy qo'llanilganda kuzatildi. Magniyni rux va kalsiy bilan qotishmasini tayyorlash degradatsiya tezligini hamda yallig'lanish darajasini kamaytirdi. Eng maqbul natijalar AgO/CaCO₃ qoplamali Mg-4Zn-0,2Ca namunasida olindi: siydik pufagi devorining arxitektonikasi saqlandi, yallig'lanish reaksiyasi minimal bo'ldi, o'rtacha massa yo'qotilishi esa 27,65±1,06% ni tashkil etdi. Olingan natijalar ushbu materialning bioparchalanuvchi ureteral stentlarni keyinchalik ishlab chiqish uchun istiqbolli ekanini tasdiqlaydi.

Kalit so'zlar: siydik nayi stenti; magniy qotishmasi; biologik moslik; biodegradatsiya; funksional qoplama.

Введение. Мочеточниковые стенты широко применяются для восстановления оттока мочи при обструкции верхних мочевых путей, однако традиционные полимерные устройства требуют последующего удаления и могут сопровождаться инфекцией, инкрустацией, миграцией, гематурией и выраженными стент-ассоциированными симптомами. В связи с этим особый интерес представляет разработка биодegradируемых стентов, способных сохранять необходимую механическую функцию в течение заданного периода, а затем постепенно разрушаться без повторного инструментального вмешательства. Среди перспективных материалов выделяются магний и его сплавы, обладающие достаточной прочностью, биосовместимостью и способностью к естественной резорбции в биологических средах.

Вместе с тем клиническое применение магниевых имплантатов ограничивается высокой и неравномерной скоростью коррозии, особенно в условиях постоянного контакта с мочой, а продукты дegradации могут вызывать выраженную локальную воспалительную



URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI JANUBIY OROLBO'YI TIBBIYOT JURNALI

2 - TOM, 5/2- SON. 2026

14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

реакцию. Одним из возможных способов управления этими процессами является легирование магния цинком и кальцием, а также нанесение функциональных покрытий на основе AgO и AgO/CaCO_3 . Поэтому изучение местной тканевой реакции и количественная оценка потери массы таких материалов *in vivo* являются необходимыми этапами доклинического обоснования их дальнейшего использования при создании биодеградируемых мочевых стентов.

Обзор литературы. Разработка биодеградируемых мочеточниковых стентов является одним из перспективных направлений современной урологии. Основным преимуществом таких устройств считается возможность их постепенного разрушения после выполнения дренирующей функции, что исключает повторную цистоскопию для удаления стента. Среди потенциальных материалов особое место занимают магний и его сплавы, сочетающие биодеградируемость, механические свойства и естественную антибактериальную активность. Вместе с тем интенсивность коррозии магния существенно зависит от состава окружающей среды. Lock и соавт. показали, что в искусственной моче магниевые сплавы подвергаются активной деградации, сопровождающейся изменением pH и образованием коррозионных продуктов, однако одновременно способны подавлять рост бактерий [1]. Эти данные подтвердили перспективность магния для урологических устройств, но обозначили необходимость контроля скорости его растворения.

Значительный этап в изучении проблемы связан с исследованием магниевых мочеточниковых стентов на крупных животных. Tie и соавт. имплантировали биодеградируемые стенты из магниевых сплавов в мочеточники свиней и установили, что материал сохранял функциональность и постепенно деградировал в течение 14 недель. При этом выраженных воспалительных и патологических изменений мочевой системы не выявлено, а гистологическое исследование подтвердило удовлетворительную тканевую совместимость материала [2]. Однако авторы также отметили, что успешное применение подобных стентов зависит от равномерности коррозии и соответствия периода деградации необходимому сроку дренирования мочевых путей.

Продукты коррозии магния представлены преимущественно ионами Mg^{2+} , гидроксидами, солями магния и водородом. В физиологических количествах они могут включаться в обменные процессы, однако быстрое локальное накопление продуктов деградации способно изменять pH, вызывать газообразование и поддерживать воспалительную реакцию окружающих тканей [3]. Гистологически реакция на магниевые имплантаты может проявляться макрофагальной инфильтрацией, образованием многоядерных гигантских клеток и формированием фиброзной капсулы. Поэтому оценка биосовместимости должна включать не только отсутствие системной токсичности, но и анализ состояния эпителия, выраженности воспаления, некроза и соединительнотканной реакции непосредственно в зоне имплантации.

Современные исследования направлены на управление коррозией магния путём легирования и поверхностной модификации. Добавление цинка и кальция позволяет улучшить механические характеристики и изменить скорость деградации, тогда как покрытия создают дополнительный барьер между металлом и биологической средой. Серебросодержащие магниевые сплавы демонстрируют выраженное антибактериальное действие, но увеличение содержания серебра может влиять на коррозионное поведение и клеточную совместимость [4]. В настоящее время наиболее перспективным считается создание многокомпонентных покрытий, которые одновременно замедляют деградацию, уменьшают высвобождение ионов магния и обеспечивают антимикробный эффект [5]. Однако сведения о реакции тканей мочевого пузыря на сплав Mg-4Zn-0,2Ca с покрытиями



URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI JANUBIY OROLBO'YI TIBBIYOT JURNALI

2 - TOM, 5/2- SON. 2026

14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

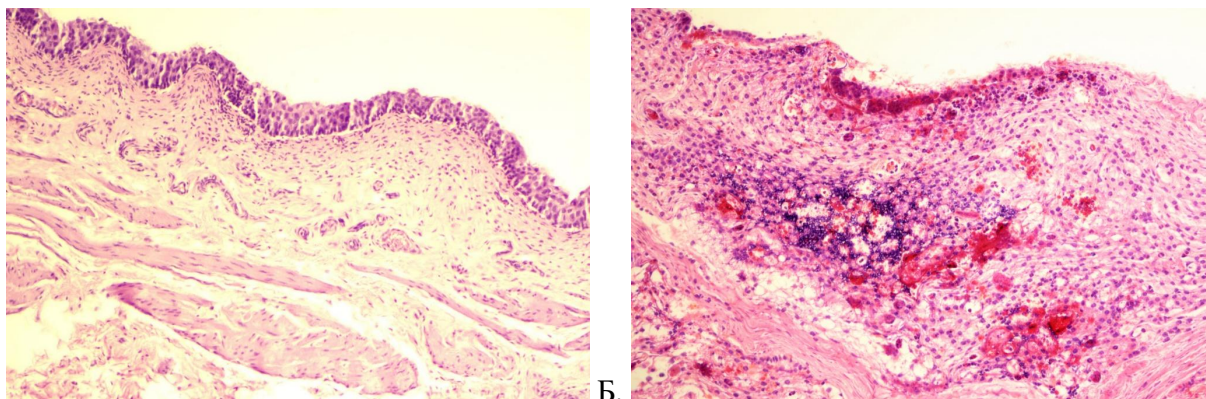
AgO и AgO/CaCO₃ остаются ограниченными, что определяет необходимость их сравнительного исследования *in vivo*.

Методология исследования. Проведено сравнительное экспериментальное исследование *in vivo* по оценке местной биосовместимости и биodeградации градиентного магниевового сплава Mg-4Zn-0,2Ca и его модификаций с функциональными покрытиями AgO и AgO/CaCO₃. В эксперимент включили 6 клинически здоровых самок свиней породы *Landras* в возрасте 2 месяцев, массой 9,5-10,3 кг. Животных распределили на 5 групп: контроль без имплантации – 1 животное; чистый Mg – 1; Mg-4Zn-0,2Ca без покрытия – 1; Mg-4Zn-0,2Ca с покрытием AgO – 1; Mg-4Zn-0,2Ca с композитным покрытием AgO/CaCO₃ – 2 животных. Исследуемые образцы представляли собой диски диаметром 10 мм и толщиной 2 мм с центральным отверстием около 3 мм.

Под общей анестезией через надлобковый доступ вскрывали мочевой пузырь и фиксировали образец к его стенке рассасывающейся нитью Vicryl 4/0, обеспечивая контакт имплантата одновременно с тканями и мочой. Послеоперационное наблюдение продолжалось 30 суток и включало оценку общего состояния, температуры тела, мочеиспускания и состояния операционной раны. Через 30 суток животных выводили из эксперимента, мочевой пузырь извлекали вместе с зоной имплантации. Материал фиксировали в 10% нейтральном формалине в течение 24-48 часов, заливали в парафин, изготавливали срезы толщиной 4-5 мкм и окрашивали гематоксилином и эозином. При световой микроскопии оценивали сохранность уротелия, отёк, воспалительную инфильтрацию, макрофагально-гигантоклеточную реакцию, некроз, кровоизлияния, неоангиогенез и выраженность фиброзной капсулы.

Биodeградацию определяли гравиметрическим методом по разнице массы имплантатов до установки и после 30 суток экспозиции. Взвешивание проводили на аналитических весах с точностью 0,1 мг; рассчитывали абсолютную потерю массы, её долю в процентах, а также среднюю скорость деградации в мг/сут и %/сут. Количественные показатели представляли как индивидуальные значения, среднее значение и стандартное отклонение. В связи с пилотным характером исследования и численностью большинства групп $n=1$ межгрупповые критерии статистической значимости не применяли; результаты анализировали описательно, а для группы AgO/CaCO₃ с $n=2$ дополнительно рассчитывали среднее значение, стандартное отклонение и диапазон показателей.

Анализ и результаты. В течение 30-суточного периода наблюдения гибели животных и осложнений, потребовавших досрочного прекращения эксперимента, не зарегистрировано. При гистологическом исследовании стенка мочевого пузыря контрольного животного сохраняла нормальную архитектуру. У животного с имплантатом из чистого магния выявлены наиболее выраженные местные изменения: истончение и деструкция уротелия, выраженный отёк подслизистого слоя, плотная нейтрофильно-макрофагальная инфильтрация, очаговые кровоизлияния и участки тканевой деструкции. Вокруг продуктов коррозии отмечалась макрофагально-гигантоклеточная реакция с неравномерным формированием рыхлой фиброзной капсулы, что свидетельствовало о низкой локальной биосовместимости чистого магния.



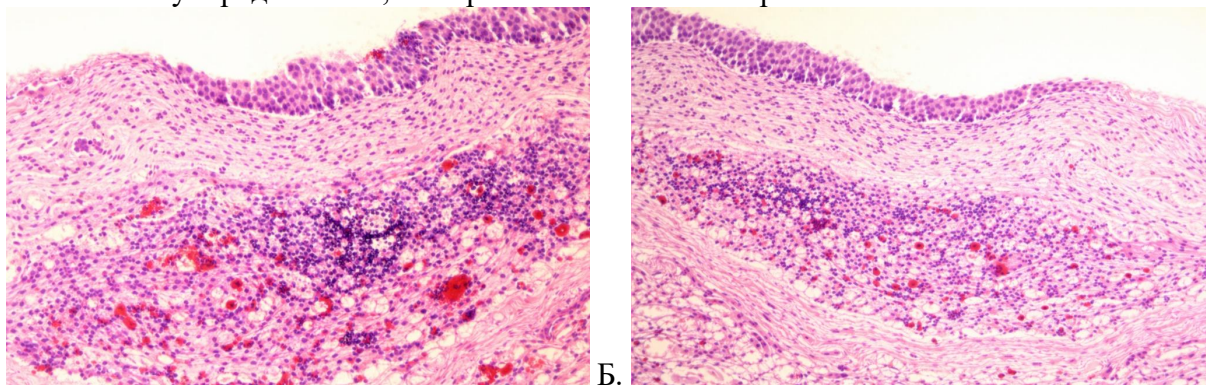
А.

Б.

Рисунок 1. Гистологическая картина стенки мочевого пузыря:

А - контрольная группа; Б - после имплантации чистого магния. Окраска гематоксилином и эозином, увеличение $\times 100$.

После имплантации Mg-4Zn-0,2Ca без покрытия воспалительная реакция была менее выраженной: уротелий преимущественно сохранял целостность, клеточная инфильтрация имела макрофагально-лимфоцитарный характер, а участки некроза и кровоизлияний были ограниченными. Вокруг имплантата формировалась сравнительно равномерная фиброзная капсула умеренной толщины. Применение покрытия AgO сопровождалось дальнейшим уменьшением тканевой реакции: определялась слабовыраженная воспалительная инфильтрация без деструкции уротелия и мышечного слоя, а соединительнотканная капсула была тонкой и упорядоченной, без признаков активного хронического воспаления.



А.

Б.

Рисунок 2. Гистологическая картина стенки мочевого пузыря:

А - Mg-4Zn-0,2Ca без покрытия; Б - Mg-4Zn-0,2Ca с покрытием AgO. Окраска гематоксилином и эозином, увеличение $\times 100$.

Наиболее благоприятная морфологическая картина выявлена у двух животных с имплантатами Mg-4Zn-0,2Ca, покрытыми AgO/CaCO₃. Стенка мочевого пузыря сохраняла нормальную архитектуру, уротелий оставался непрерывным, воспалительная инфильтрация была минимальной, некроз и кровоизлияния отсутствовали. Вокруг имплантатов формировалась тонкая зрелая соединительнотканная капсула без выраженной реакции окружающих тканей. Полученные данные указывали на повышение локальной биосовместимости в последовательности: чистый Mg $\rightarrow$ Mg-4Zn-0,2Ca $\rightarrow$ Mg-4Zn-0,2Ca/AgO $\rightarrow$ Mg-4Zn-0,2Ca/AgO/CaCO₃.

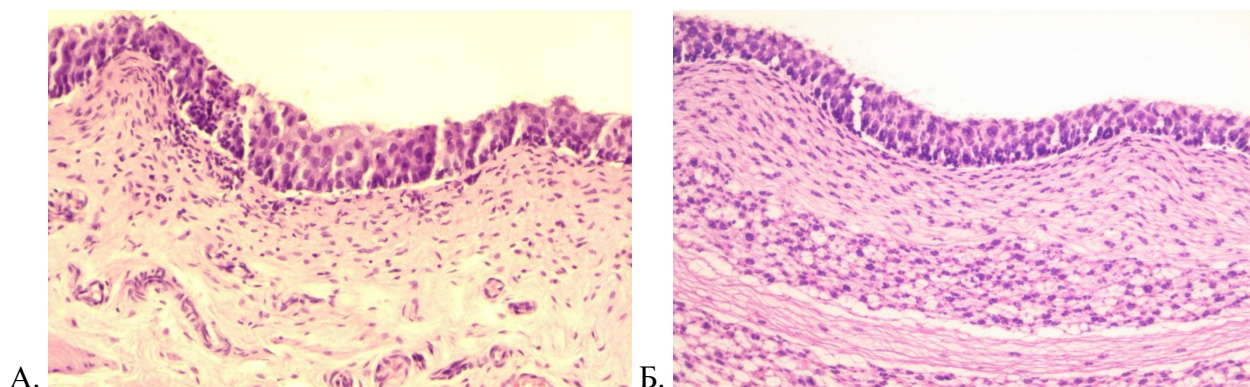


Рисунок 3. Гистологическая картина стенки мочевого пузыря животных с имплантатами Mg-4Zn-0,2Ca с композитным покрытием AgO/CaCO₃:

А - животное №5; Б - животное №6. Окраска гематоксилином и эозином, увеличение × 100.

Гравиметрическое исследование подтвердило деградацию всех магниевых образцов в течение 30 суток. Наибольшая потеря массы установлена для чистого магния - 44,9%, что соответствовало скорости деградации 3,72 мг/сут, или 1,50%/сут. Легирование магния цинком и кальцием уменьшало потерю массы до 29,9%, а скорость деградации - до 2,60 мг/сут. При нанесении покрытия AgO потеря массы составила 28,3%, скорость деградации - 2,48 мг/сут. Для двух имплантатов с композитным покрытием AgO/CaCO₃ потеря массы составляла 26,9 и 28,4%, а скорость деградации - 2,38 и 2,53 мг/сут соответственно. Средняя потеря массы в данной группе составила 27,65±1,06%, средняя скорость деградации - 2,46±0,11 мг/сут, или 0,925±0,035%/сут.

Таблица 1

Гравиметрическая оценка биодеградации магниевых имплантатов через 30 суток

Исследуемый материал	Масса до имплантации, мг	Масса после имплантации, мг	Потеря массы, мг	Потеря массы, %	Деградация, мг/сут	Деградация, %/сут
Чистый Mg	248,4	136,8	111,6	44,9	3,72	1,50
Mg-4Zn-0,2Ca	261,3	183,2	78,1	29,9	2,60	1,00
Mg-4Zn-0,2Ca/AgO	263,3	188,8	74,5	28,3	2,48	0,94
Mg-4Zn-0,2Ca/AgO/CaCO ₃ , (животное №5)	265,9	194,4	71,5	26,9	2,38	0,90
Mg-4Zn-0,2Ca/AgO/CaCO ₃ , (животное №6)	267,3	191,4	75,9	28,4	2,53	0,95

Легирование Mg-4Zn-0,2Ca уменьшило суточную потерю массы приблизительно на 30% по сравнению с чистым магнием, а нанесение композитного покрытия AgO/CaCO₃ приблизительно на 34%. Сочетание минимальной местной воспалительной реакции, формирования тонкой зрелой капсулы и наиболее низкой, воспроизводимой скорости потери



URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI JANUBIY OROLBO'YI TIBBIYOT JURNALI

2 - TOM, 5/2- SON. 2026

14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

массы свидетельствовало о наиболее благоприятном профиле локальной биосовместимости и биodeградации Mg-4Zn-0,2Ca с покрытием AgO/CaCO₃.

Заключение и рекомендации. Полученные результаты показали, что характер местной тканевой реакции и скорость биodeградации магниевых имплантатов существенно зависели от состава сплава и типа поверхностного покрытия. Наиболее выраженные морфологические изменения наблюдались после имплантации чистого магния: деструкция и истончение уротелия, выраженный отёк, нейтрофильно-макрофагальная инфильтрация, очаговые кровоизлияния и макрофагально-гигантоклеточная реакция вокруг продуктов коррозии. Эти изменения сочетались с максимальной потерей массы – 44,9% за 30 суток, или 3,72 мг/сут. Вероятно, интенсивная деградация чистого магния сопровождалась быстрым локальным накоплением продуктов коррозии, изменением микроокружения и усилением воспалительной реакции. Подобная зависимость между скоростью коррозии магния и характером реакции окружающих тканей описана Seitz и соавт., отметившими, что биологический эффект магниевых имплантатов определяется не только составом продуктов деградации, но и скоростью их образования и возможностью удаления из зоны имплантации [3].

Легирование магния цинком и кальцием сопровождалось снижением потери массы до 29,9% и уменьшением скорости деградации до 2,60 мг/сут. Одновременно гистологическая картина характеризовалась преимущественным сохранением уротелия, менее выраженной макрофагально-лимфоцитарной инфильтрацией и формированием более равномерной фиброзной капсулы. Полученные данные подтверждают, что изменение состава магниевого материала позволяет регулировать его коррозионное поведение и улучшать местную биосовместимость. Согласно обзору Martinez Sanchez и соавт., скорость деградации магниевых сплавов зависит от состава материала, микроструктуры, характера легирования и ионного состава биологической среды, причём результаты стандартных исследований *in vitro* не всегда точно отражают процессы, происходящие *in vivo* [6]. Это особенно важно для урологических имплантатов, постоянно контактирующих с мочой, содержащей хлориды, фосфаты и другие соединения, способные ускорять локальную коррозию.

Наши результаты согласуются с экспериментальными данными Lock и соавт., показавшими активную деградацию магниевых сплавов в искусственной моче и зависимость коррозионного процесса от состава сплава. Авторы одновременно выявили антибактериальные свойства магниевых материалов, что подтверждает перспективность их использования для создания рассасывающихся мочеточниковых стентов, однако указали на необходимость управления скоростью деградации [1]. В настоящем исследовании имплантация непокрытого Mg-4Zn-0,2Ca действительно уменьшала скорость потери массы по сравнению с чистым Mg, но не обеспечивала полного устранения воспалительной реакции. Следовательно, одного легирования оказалось недостаточно для достижения оптимального сочетания контролируемой деградации и высокой местной тканевой совместимости.

Нанесение покрытия AgO дополнительно уменьшало потерю массы до 28,3%, а скорость деградации – до 2,48 мг/сут. Морфологически это сопровождалось сохранностью уротелия, слабовыраженной воспалительной инфильтрацией и формированием тонкой упорядоченной соединительнотканной капсулы. Полученный эффект может быть связан как с барьерной функцией покрытия, ограничивающей непосредственный контакт сплава с мочой, так и с антимикробными свойствами серебра. Tie и соавт. установили, что включение серебра в состав магниевых материалов обеспечивает выраженную антибактериальную активность, при этом коррозионные и механические характеристики Mg-Ag-сплавов могут регулироваться изменением содержания серебра и технологией обработки материала [4].



URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI JANUBIY OROLBO'YI TIBBIYOT JURNALI

2 - TOM, 5/2- SON. 2026

14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

Вместе с тем серебросодержащие покрытия требуют строгого контроля дозы и скорости высвобождения ионов, поскольку избыточное содержание серебра потенциально может ухудшать клеточную совместимость.

Наиболее благоприятные результаты получены при применении композитного покрытия AgO/CaCO_3 . Средняя потеря массы составила $27,65 \pm 1,06\%$, средняя скорость деградации – $2,46 \pm 0,11$ мг/сут, или $0,925 \pm 0,035\%/сут$. По сравнению с чистым магнием абсолютная скорость потери массы уменьшилась приблизительно на 34%. При этом у обоих животных сохранялась нормальная архитектура стенки мочевого пузыря, уретерий был непрерывным, воспалительная инфильтрация минимальной, а некроз и кровоизлияния отсутствовали. Формирование тонкой зрелой фиброзной капсулы свидетельствовало об адаптационном, а не повреждающем характере тканевого ответа. Вероятно, композитное покрытие создавало более стабильный барьер между магниевой основой и биологической средой и обеспечивало более равномерное растворение имплантата. Современные исследования поверхностной модификации магниевых сплавов также показывают, что многокомпонентные покрытия способны одновременно повышать коррозионную устойчивость, уменьшать локальное высвобождение продуктов деградации и улучшать биосовместимость материала [7].

Полученные данные в целом сопоставимы с результатами Tie и соавт., которые при имплантации магниевых мочеточниковых стентов свиньям не выявили выраженных патологических изменений мочевой системы и показали возможность контролируемой деградации материала в течение 14 недель [2]. Однако в нашем эксперименте чистый магний вызывал выраженную локальную реакцию уже через 30 суток, тогда как модифицированные варианты сплава демонстрировали значительно лучшую биосовместимость. Различия могут быть обусловлены составом сплава, конфигурацией образцов, локализацией имплантации и особенностями непосредственного контакта материала одновременно с мочой и стенкой мочевого пузыря. Это подтверждает необходимость оценивать каждый вариант магниевых имплантатов в конкретной анатомической и биологической среде.

Следует учитывать пилотный характер исследования. В большинстве групп было представлено по одному животному, а группа AgO/CaCO_3 включала двух животных, что не позволяло проводить полноценный статистический межгрупповой анализ. Кроме того, наблюдение было ограничено 30 сутками, поэтому полученные данные характеризуют преимущественно раннюю фазу местной реакции и деградации. Тем не менее совпадение гистологических и гравиметрических результатов, а также воспроизводимость показателей у двух животных с покрытием AgO/CaCO_3 позволяют рассматривать данный вариант модификации как наиболее перспективный для последующих расширенных экспериментальных исследований.

Чистый магний характеризовался наиболее высокой скоростью биodeградации и наиболее выраженной воспалительно-деструктивной реакцией стенки мочевого пузыря. Легирование магния цинком и кальцием снижало потерю массы имплантата и уменьшало выраженность местной тканевой реакции. Покрытия AgO и особенно AgO/CaCO_3 дополнительно замедляли деградацию и улучшали локальную биосовместимость сплава Mg-4Zn-0,2Ca . Композитное покрытие AgO/CaCO_3 обеспечивало наиболее благоприятное сочетание контролируемой биodeградации, сохранности уретерия и минимальной воспалительной реакции.

Список использованной литературы.

1. Lock JY, Wyatt E, Upadhyayula S, Whall A, Nuñez V, Vullev VI, et al. Degradation and antibacterial properties of magnesium alloys in artificial urine for potential resorbable ureteral stent applications. J Biomed Mater Res A. 2014;102(3):781-92.



URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI JANUBIY OROLBO'YI TIBBIYOT JURNALI

2 - TOM, 5/2- SON. 2026

14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

2. Tie D, Liu H, Guan R, Holt-Torres P, Liu Y, Wang Y, et al. In vivo assessment of biodegradable magnesium alloy ureteral stents in a pig model. *Acta Biomater.* 2020;116:415-25.
3. Seitz JM, Eifler R, Bach FW, Maier HJ. Magnesium degradation products: effects on tissue and human metabolism. *J Biomed Mater Res A.* 2014;102(10):3744-53.
4. Tie D, Feyerabend F, Müller WD, Schade R, Liefelth K, Kainer KU, et al. Antibacterial biodegradable Mg-Ag alloys. *Eur Cell Mater.* 2013;25:284-98; discussion 98.
5. Nocchetti M, Piccinini M, Pietrella D, Antognelli C, Ricci M, Di Michele A, et al. The Effect of Surface Functionalization of Magnesium Alloy on Degradability, Bioactivity, Cytotoxicity, and Antibiofilm Activity. *J Funct Biomater.* 2025;16(1).
6. Martinez Sanchez AH, Luthringer BJ, Feyerabend F, Willumeit R. Mg and Mg alloys: how comparable are in vitro and in vivo corrosion rates? A review. *Acta Biomater.* 2015;13:16-31.
7. Guo X, Hu Y, Yuan K, Qiao Y. Review of the Effect of Surface Coating Modification on Magnesium Alloy Biocompatibility. *Materials (Basel).* 2022;15(9).