

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ И ДЕЗИНФЕКЦИИ
ГЕМОДИАЛИЗНОЙ АППАРАТУРЫВ.И. Вторенко¹, А.И. Ушакова¹, В.М. Бахир², И.В. Козлов²¹ГБУЗ города Москвы «Городская клиническая больница № 52 Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Россия²ООО «Институт электрохимических систем и технологий Витольда Бахира», Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. С эпидемиологической точки зрения актуальность работы в системе здравоохранения в области нефрологии связана с необходимостью уничтожения биопленок микроорганизмов в гидравлических системах, очисткой от органо-минеральных отложений и дезинфекцией внутренней поверхности гидравлической системы гемодиализных аппаратов.**Цель.** Решение задачи импортозамещения и создание новой технологии для выработки и использования на месте потребления в условиях диализных центров экологически чистого универсального средства.**Материалы и методы.** Техническая электрохимическая система для синтеза растворов. Химические реакции разложения воды на инертных аноде и катоде диафрагменного электрохимического реактора.**Результаты.** Разработан новый методологический подход и технико-технологические решения, позволяющие придать раствору лимонной кислоты свойства эффективного агента для очистки от органо-минеральных отложений внутренних поверхностей гидравлической системы аппарата для гемодиализа в сочетании со свойствами агента для дезинфекции высокого уровня.**Выводы.** Высокая эффективность действия исключает дублирование и ротацию используемых средств для очистки и дезинфекции, сокращает время подготовки аппарата к сеансу диализа. Перспективы связаны с использованием получаемого на месте дезсредства широкого спектра действия в различных отделениях больницы.**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** технологии сбережения здоровья, электрохимические дезинфицирующие системы, биопленки, микробиологическая безопасность, импортозамещение**КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:** Бахир Витольд Михайлович, e-mail: vitold@bakhir.ru**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Вторенко В.И., Ушакова А.И., Бахир В.М., Козлов И.В. Электрохимическая технология очистки и дезинфекции гемодиализной аппаратуры // Вестник Медицинского института непрерывного образования. — 2025. — Т. 5, № 1. — С. 45–51. — DOI 10.36107/2782-1714_2025-5-1-45-51.**ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ:** Создано при грантовой поддержке Департамента Здравоохранения Москвы (проект «Разработка прогрессивных технических средств нового поколения, формирование новых методологических подходов и создание импортозамещающих технологий, обеспечивающих биологическую безопасность пациентов и персонала во время диализной терапии», заявка № 1003-10/23).**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.**ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:** Данные текущего исследования можно получить по обоснованному запросу у корреспондирующего автора.ELECTROCHEMICAL TECHNOLOGY FOR CLEANING AND DISINFECTION
OF HEMODIALYSIS EQUIPMENTV.I. Vtorenko¹, A.I. Ushakova¹, V.M. Bakhir², I.V. Kozlov²¹City Clinical Hospital No. 52 of the Moscow City Healthcare Department, Russia²Vitold Bakhir Institute of Electrochemical Systems and Technologies, Moscow, Russia

ABSTRACT

Background. From the epidemiological point of view, the relevance of work in the healthcare system in the field of nephrology is related to the need to destroy biofilms of microorganisms in hydraulic systems, cleaning of organo-mineral deposits and disinfection of the internal surface of the hydraulic system of hemodialysis machines.**Purpose.** To solve the problem of import substitution and to create a new technology for the production and use of an environmentally friendly universal agent at the place of consumption in the conditions of dialysis centres.**Materials and methods.** Technical electrochemical system for solution synthesis. Chemical reactions of water decomposition on inert anode and cathode of diaphragm electrochemical reactor.**Results.** A new methodological approach and techno-technological solutions have been developed to give the citric acid solution the properties of an effective agent for cleaning from organo-mineral deposits of internal surfaces of the hydraulic system of the hemodialysis apparatus in combination with the properties of an agent for high-level disinfection.**Conclusion.** High efficiency of action eliminates duplication and rotation of used cleaning and disinfection agents, reduces the preparation time of the device for dialysis session. Prospects are associated with the use of locally produced broad-spectrum disinfectant in various departments of the hospital.**KEYWORDS:** health saving technologies, electrochemical disinfection systems, biofilms, microbiological safety, import substitution**CORRESPONDENCE:** Vitold M. Bakhir, vitold@bakhir.ru

FOR CITATIONS: Vtorenko V.I., Ushakova A.I., Bakhr V.M., Kozlov I.V. Electrochemical Technology for Cleaning and Disinfection of Hemodialysis Equipment // Bulletin of the Medical Institute of Continuing Education. — 2025. — V. 5, No. 1. — S. 45–51. — DOI 10.36107/2782-1714_2025-5-1-45-51.

FUNDING SOURCE: Established with grant support from the the Moscow City Healthcare Department (Project “Development of progressive technical means of new generation, formation of new methodological approaches and creation of import-substituting technologies ensuring biological safety of patients and staff during dialysis therapy”, application No. 1003-10/23).

DECLARATION OF COMPETING INTEREST: The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

DATA AVAILABILITY STATEMENT: Data from the current study are available upon reasonable request from the corresponding author.

ВВЕДЕНИЕ

С эпидемиологической точки зрения актуальность работы в системе здравоохранения в области нефрологии связана с необходимостью уничтожения биопленок микроорганизмов в гидравлических системах, очисткой от органо-минеральных отложений и дезинфекцией внутренней поверхности гидравлической системы гемодиализных аппаратов.

Разработка и исследования технических и технологических аспектов проблемы проводились с целью создания растворов для дезинфекции поверхностей, в частности, для экологически безопасной очистки и дезинфекции внутренних поверхностей сложных гидравлических систем от минеральных отложений и биопленок микроорганизмов в аппаратах для гемодиализа.

Очистку и дезинфекцию гемодиализного и вспомогательного оборудования выполняют после каждого сеанса гемодиализа с целью предотвращения септических состояний пациентов и внутрибольничных эпидемий.

Стандартная практика очистки и дезинфекции гемодиализных аппаратов основана на опыте дезинфектологии, токсикологии и современной практики конструирования сложных гидравлических систем, обеспечивающих поддержание в течение длительного времени (как правило, в течение нескольких часов) заданных параметров селективного извлечения вредных продуктов жизнедеятельности из крови пациента при полной микробиологической и токсикологической безопасности процедуры гемодиализа или гемофильтрации.

В процессе эксплуатации внутри диализного аппарата возникает бактериальное загрязнение, образуются осадки органических и неорганических веществ в виде органо-минерального слоя или конгломерата частиц, плотно связанных с внутренней поверхностью гидравлических коммуникаций системы.

Особую сложность при микробиологической очистке представляют споровые формы микроорганизмов и биопленки, которые обладают высочайшей устойчивостью к любым агрессивным воздействиям, в том числе и к температурам выше 100°C. Спороцидной активностью обладают всего несколько классов биоцидных препаратов, к ним относятся соединения на основе йода, хлора, альдегидов и пероксида водорода (карбоновые надкислоты). Поскольку биопленки микроорганизмов по способности противостоять различным биоцидам равны или превосходят споровые формы микроорганизмов, то для обработки гемодиализных аппаратов требуются средства, обладающие, как минимум, спороцидной активностью.

Современные аппараты для гемодиализа имеют многокомпонентные гидравлические схемы с различными скоростями протоков жидкости во время рабо-

чих процедур и в период технического обслуживания (декальцинации, дезинфекции). Учет разнофакторного влияния на систему «пациент — гемодиализный аппарат» процессов декальцинации и удаления окислов железа, температурные и химические факторы деградации конструкционных материалов, процессов дезинфекции (повторно — кратковременные температурные, физико-химические процессы уничтожения стойких и адаптирующихся к неблагоприятным условиям микробиологических сообществ) приводит к выводу о необходимости универсализации процедур очистки и дезинфекции гидравлических систем аппаратов для гемодиализа.

Средства для очистки и дезинфекции диализной аппаратуры должны отвечать трем важнейшим критериям. Во-первых, они не должны представлять опасности для человека и окружающей среды, то есть, быть токсикологически и экологически безопасными, во-вторых, они должны быть универсальными, то есть, обладать способностью с одинаковой эффективностью удалять органо-минеральные отложения и осуществлять дезинфекцию высокого уровня и, наконец, в-третьих, они не должны быть коррозионно активными.

Также следует учитывать, что любые новые средства для обработки гемодиализных аппаратов должны соответствовать по химическому составу, физико-химическим свойствам и технологическим способам применения тем требованиям, которые рекомендуются производителями гемодиализной аппаратуры, и применяться в режимах, предусмотренных программным обеспечением аппаратов для гемодиализа.

Целью настоящего исследования являлось усиление биоцидной и декальцинирующей активности концентрированного раствора лимонной кислоты, рекомендованного фирмами-производителями диализного оборудования для технического обслуживания (декальцинации, дезинфекции) такого оборудования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использована техническая электрохимическая система для синтеза растворов. Рассмотрены химические реакции разложения воды на инертных аноде и катоде диафрагменного электрохимического реактора.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 приведены сравнительные данные использования химических средств по трем направлениям функциональной эффективности, полученные в процессе большого практического опыта работы гемодиализного отделения [1]. Так, щавелевой кислотой авторы статьи рекомендуют пользоваться только при появлении на внутренних частях аппарата осадка, что связано

Таблица 1. Эффективность средств, применяемых для очистки и дезинфекции диализной аппаратуры [1]

Средство	Эффективность по осадкам неорганических веществ		Эффективность по осадкам органических веществ	Эффективность по дезинфекции
	Карбонат кальция и магния	Оксид железа		
Нагрев и картридж CleanCart-C	Высокая	Низкая	Отсутствует	Высокая
Надуксусная кислота (0,10–0,15%)	Низкая	Отсутствует	Отсутствует	Высокая
Гипохлорит натрия (0,5%)	Отсутствует	Отсутствует	Высокая	Высокая
Формальдегид (4%)	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Высокая
Глутаровый диальдегид (2%)	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Высокая
Картридж CleanCart-C	Высокая	Низкая	Отсутствует	Отсутствует
Лимонная кислота (2%)	Высокая	Низкая	Отсутствует	Отсутствует
Уксусная кислота (2%)	Высокая	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Щавелевая кислота (2%)	Низкая	Высокая	Отсутствует	Отсутствует

с агрессивным воздействием на полимерные материалы деталей и узлов гидравлической системы.

Известен метод получения надуксусной кислоты посредством смешивания раствора уксусной кислоты и раствора пероксида водорода [2]. Реакция взаимодействия основных компонентов смеси протекает весьма медленно даже в присутствии катализатора (до суток и более), что не позволяет использовать приготовленное средство непосредственно на месте. Несмотря на выгодное отличие полученного раствора надуксусной кислоты от растворов на основе формальдегида или глутарового альдегида в плане экологического и токсикологического воздействия на окружающую среду и персонал, он все-таки является веществом-ксенобиотиком, т.е. субстанцией, чуждой организму человека и, следовательно, небезопасной. К тому же, как следует из данных, представленных в табл. 1, раствор надуксусной кислоты неэффективен для удаления карбонатных неорганических отложений, оксидов железа и отложений органических веществ, в том числе биопленок.

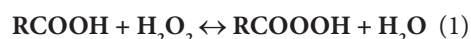
Все многочисленные средства для химической обработки гемодиализных аппаратов, кроме лимонной кислоты, требуют специальной процедуры проверки остаточного количества активно действующих веществ (АДВ) после использования. Обособленное положение лимонной кислоты среди других карбоновых кислот и прочих средств для очистки и дезинфекции диализной аппаратуры обусловлено ее физиологичностью, то есть, полной биологической совместимостью [3].

Лимонная кислота может рассматриваться как единственный приемлемый для использования очищающий и дезинфицирующий агент, дружественный организму человека, иначе: амикабиотик (amicabiotic от латинского amicalis; amicalis).

Наиболее частой процедурой обработки аппарата для гемодиализа является декальцинация и дезинфекция. Дезинфекция может производиться 50%-ным раствором лимонной кислоты, а также раствором лимонной кислоты, разбавленным очищенной для гемодиализа водой в соотношении 1:30–1:34. После бикарбонатного диализа обычно производится дезинфекция 50%-ным раствором лимонной кислоты. Лимонная кислота является единственным агентом, использующимся как для декальцинации, так и для дезинфекции, и не требующим проверки на наличие остаточного количества в гидравлических ком-

муникациях аппарата после промывки. Однако, как следует из табл. 1, лимонная кислота не обладает биоцидной способностью, достаточной для уничтожения биопленок и планктонных биологически стойких микроорганизмов, которые, как правило, быстро вырабатывают резистентность по отношению к часто используемому биоциду, не способна удалять окислы железа, а также не обладает способностью растворять органоминеральные отложения при температурах ниже 80° Цельсия. Поэтому важным является применение растворов с метастабильными действующими веществами [4].

В научной и практической информации, посвященной данной теме [5], отмечено, что качество и безопасность для пациента процедуры гемодиализа во многом зависит от микробиологической чистоты диализирующего раствора (отмеченное утверждение ([5]) проверено практически: см. рис. 2 с комментариями), которая, в свою очередь, определяется эффективностью проведенной химической дезинфекцией. Процесс взаимодействия пероксида водорода с органическими карбоновыми кислотами можно представить в общем виде:



Наиболее хорошо изученными являются процессы получения и применения надуксусной кислоты.

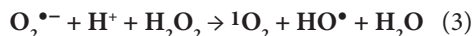
Известна технология получения водного раствора надлимонной кислоты [6], включающая смешивание раствора лимонной кислоты и раствора пероксида водорода с добавками хелатирующего агента (стабилизатора) в виде различных органических кислот, обладающих сходными физико-химическими и реакционными свойствами.

Также известна технология получения карбоновых надкислот посредством смешивания раствора пероксида водорода с исходным раствором карбоновой кислоты, в том числе надлимонной, с применением полимерного катионактивного катализатора, который тоже выполняет функцию стабилизатора полученного раствора надлимонной кислоты [7]. Реализация этого метода предполагает взаимодействие сопоставимых по объему растворов пероксида водорода и карбоновой кислоты, что не позволяет применить его для получения раствора, соответствующего требованиям производителей аппаратов для гемодиализа.

Синтезированный на катоде [8] из воды разбавленного водного раствора лимонной кислоты пероксид водорода при взаимодействии с лимонной кислотой образует надлимонную кислоту. Одним из недостатком указанного способа является отсутствие возможности точного регулирования и точного определения количества образовавшегося в единицу времени пероксида водорода из восстановленного каталитическим путем кислорода, что обусловлено спонтанно протекающими множественными процессами на каталитической поверхности газодиффузионного катода.

Для достижения указанной цели был разработан метод получения концентрированного раствора лимонной кислоты, соответствующего нормативным параметрам раствора для использования в системе автоматической очистки и дезинфекции гемодиализного аппарата, посредством электрохимической обработки потока исходного концентрированного раствора лимонной кислоты (50%-ного водного раствора лимонной кислоты). Эффект последовательности технологических операций следует из теории физико-химических цепных каталитических реакций и связан с созданием условий протекания в реакционной смеси серии последовательных реакционных циклов, именуемых реакцией Габер-Вейсса [9].

В 1931 году немецкий химик, лауреат Нобелевской премии по химии Фриц Габер (Fritz Haber) и его студент Джозеф Вейсс (Joseph Weiss) описали цепную реакцию, ставшую известной как цикл Габер-Вейсса:



Использование в качестве генератора активных компонентов этой цепной реакции процессов электрохимического разложения воды на электродах диафрагменного электрохимического реактора, обеспечивающего только униполярное электрохимическое воздействие на среду в электродной камере, позволило реализовать возможность увеличения посредством инициирования каталитических процессов в растворе лимонной кислоты синтез надлимонной кислоты и сохранение активности активно действующих веществ в растворе длительное время, предпочтительно до одного месяца и более.

В табл. 2 представлены реакции разложения воды на инертных аноде и катоде диафрагменного электрохимического реактора.

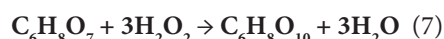
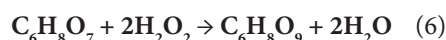
Таблица 2. Реакции разложения воды на инертных аноде и катоде диафрагменного электрохимического реактора

Анодные реакции	Катодные реакции
$2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e} \rightarrow 4\text{H}^+ + \text{O}_2$	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
$2\text{H}_2\text{O} - 2\text{e} \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}_2$	$\text{O}_2 + \text{e} \rightarrow \text{O}_2^{\bullet-}$
$\text{H}_2\text{O} - \text{e} \rightarrow \text{HO}^\bullet + \text{H}^+$	$\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow \text{HO}_2^- + \text{OH}^-$
$\text{OH}^- - \text{e} \rightarrow \text{HO}^\bullet$	$\text{HO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + \text{e} \rightarrow \text{HO}^\bullet + 2\text{OH}^-$
$\text{H}_2\text{O}_2 - \text{e} \rightarrow \text{HO}_2^\bullet + \text{H}^+$	$\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$
$\text{H}_2\text{O} - 2\text{e} \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{O}^\bullet$	$\text{e}_{\text{cathode}} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{e}_{\text{aq}}$
$\text{H}_2\text{O} - \text{e} \rightarrow \text{H}^\bullet + \text{OH}^\bullet$	$\text{H} + \text{e}_{\text{aq}} \rightarrow \text{H}^\bullet$
$3\text{OH}^- - 2\text{e} \rightarrow \text{HO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$	$\text{H}_2\text{O} + \text{e}_{\text{aq}} \rightarrow \text{H}^\bullet + \text{OH}^-$

Лимонная кислота ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$), в отличие от одноосновных карбоновых молочной и уксусной кислот, является трехосновной карбоновой оксикислотой, что и объясняет существенные отличия ее получения по общей схеме для обычно используемых карбоновых уксусной или молочной кислот реакции:



Небольшое количество электрохимически активированного пероксида водорода (окислителя) в растворе активно реагирует с лимонной кислотой (восстановителем) в соответствии с возможными химическими реакциями:



Процесс продолжается за счет аномальной химической активности среды и участвующих в реакции реагентов в режиме автокатализа, т.е. осуществляется продолжение химической реакции за счет наличия и постоянного пополнения продуктов, являющихся катализаторами превращения исходных веществ, что было подтверждено в лабораторном эксперименте, выполненном на универсальной технической электрохимической системе АКВАТРОН — 25–30Э [10].

Принцип реализации технологического процесса состоит в достижении возможности придания концентрированному раствору лимонной кислоты (500 г/л) свойств мощного дезинфицирующего раствора путем превращения некоторого количества лимонной кислоты в растворе в надлимонную кислоту посредством электрохимического процесса модификации, а именно — быстрого электрокаталитического окисления пероксидом водорода в проточном электрохимическом реакторе.

При использовании такого модифицированного раствора в процессе автоматической очистки и дезинфекции в аппарате для гемодиализа происходит разбавление концентрированного раствора лимонной кислоты водой, очищенной для гемодиализа в соотношении от 1:30 до 1:34.

В процессе автоматической процедуры очистки и дезинфекции объемный расход такого разбавленного раствора автоматически изменяется в соответствии с заданной программой очистки гемодиализного аппарата в пределах от 50 до 150 и более литров в час. Использование для очистки гемодиализного аппарата электрохимически модифицированного концентрата лимонной кислоты обеспечивает придание раствору, приготовленному путем смешивания концентрата с очищенной водой, дополнительных свойств мощного антимикробного агента, который, наряду с очисткой от минеральных отложений и оксидов железа, способен не только уничтожать планктонные микроорганизмы, но также эффективно удалять биопленки и другие органоминеральные отложения с внутренних поверхностей гидравлической системы гемодиализного аппарата.

В сравнительных лабораторных экспериментах было отмечено, что наличие надлимонной кислоты в составе концентрата электрохимически активированной лимонной кислоты усиливает способность приготовленного раствора растворять минеральные, в том числе карбонатные, органо-минеральные отложения. Производительность системы для синтеза раствора из электрохимически модифицированного концентрата лимонной кислоты путем смешивания с очищенной для гемодиализа водой в соотношении 1:30 составляет 200 литров в час, т.е. перекрывает потребность аппаратов для гемодиализа в подобном растворе.

Предложенный технологический процесс реализуется в электрохимическом устройстве, принципиальная схема которого изображена на рис. 1.

В качестве диафрагменного проточного реактора (3) может быть использован «МБ-26Т» с платиновым анодом [10]. Посредством насоса (2) осуществляют подачу концентрированного 50%-ного водного раствора лимонной кислоты из емкости хранения (1) в катодную камеру (12) диафрагменного проточного электрохимического реактора (3) по гидравлической линии. Скорость подачи раствора лимонной кислоты может составлять от 10 до 20 литров в час. Одновременно с этим происходит подача 30%-ого водного раствора пероксида водорода дозировочным насосом (5) в гидравлическую линию, соединяющую выход катодной камеры (12) диафрагменного проточного электрохимического реактора (3) со входом анодной камеры (13) этого же реактора.

Для заполнения каждой из камер реактора требуется около 20 мл обрабатываемой жидкости. При последующих запусках электрохимический реактор включается в работу немедленно после подачи напряжения на электроды, поскольку его камеры остаются заполненными после остановки системы.

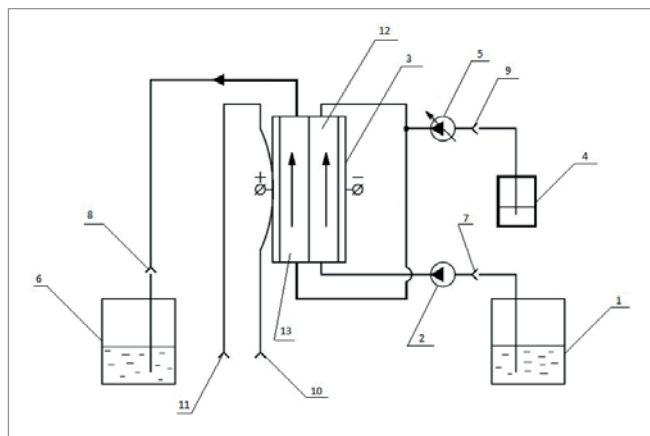


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной электрохимической системы. Условные обозначения: 1 — емкость хранения; 2 — насос перистальтический; 3 — диафрагменный проточный электрохимический реактор; 4 — емкость с раствором пероксида водорода; 5 — дозировочный насос пероксида водорода; 6 — приемная емкость; 7 — быстроразъемное соединение линии подачи раствора концентрированной лимонной кислоты; 8 — быстроразъемное соединение линии выхода модифицированного раствора лимонной кислоты; 9 — быстроразъемное соединение линии подачи раствора пероксида водорода; 10 — быстроразъемное соединение линии входа воды охлаждения; 11 — быстроразъемное соединение линии выхода воды охлаждения; 12 — катодная камера; 13 — анодная камера

В катодной камере (12) происходит униполярная электрохимическая обработка концентрированного водного раствора лимонной кислоты. После выхода потока из (12) происходит смешивание электрохимически обработанного концентрированного водного раствора лимонной кислоты с 30%-ым водным раствором пероксида водорода. В анодной камере (13) протекают реакции, также показанные в табл. 2. Одновременно с этим протекают автокаталитические реакции превращения лимонной кислоты в надлимонную в соответствии с количеством активных частиц, образованных в процессе предшествующих стадий электрохимической обработки. После этого происходит заполнение приемной емкости (6), равной по объему емкости хранения (1), раствором надлимонной кислоты в концентрированном водном растворе лимонной кислоты.

В настоящее время вопрос обеспечения микробиологической безопасности гемодиализных отделений клиник больших остается чрезвычайно важным и во всем мире. Так, например, французские рекомендации по профилактике инфекций в условиях гемодиализа были опубликованы еще в 2005 году, однако соблюдаются ли эти рекомендации, в настоящее время неизвестно [11].

При этом в период с марта по декабрь 2019 г. было проведено перекрестное исследование в 200 отделениях гемодиализа во Франции, выбранных случайным образом. Практика считалась соответствующей требованиям, если >85% отделений заявляли, что они всегда соблюдают рекомендации. В итоге было показано, что большинство практик следовали рекомендациям. Однако в некоторых отделениях не удалось достичь 85%-ного порога соблюдения требований, касающихся работы в паре при подключении центральных венозных катетеров (ЦВК), соблюдения гигиены рук перед отсоединением катетеров, смывания антисептического мыла перед антисептической обработкой места выхода ЦВК или места прокола артериовенозной фистулы и др. Наиболее часто отмечались такие трудности, как нехватка и наличие технического опыта работы у персонала и сложности с подготовкой кожи из-за ее повреждения в месте выхода. Несмотря на хорошее общее соответствие требованиям, данное исследование выявило некоторые недостатки в соблюдении рекомендаций по профилактике инфекций, которые могут быть связаны либо с повышенным риском инфицирования сосудистого доступа, либо с увеличением передачи вирусов, поступающих через кровь [11].

Кроме этого, в международных научно-технических высокорейтинговых журналах отмечаются сложности с эффективностью дезинфекции медицинского оборудования [12], высокие риски нарушения микроэлементного статуса пациентов, обусловленного как основным заболеванием, так и самим процессом гемодиализа [13].

Во всем мире существует пробел в знаниях и о скрытой инфекции гепатита В среди пациентов, находящихся на гемодиализе [14], что также указывает на необходимость использования в работе высокоэффективных дезинфицирующих средств.

При этом вопрос деструкции биопленок, в том числе во внутрибольничной среде, на различных поверхностях и на изделиях медицинского назначения многоразового использования с помощью различных дезинфицирующих агентов не потерял свою актуальность и сегодня [15].

Таким образом, сохраняется целесообразность использования в системе организации здравоохранения метастабильных дезинфекционных средств широкого спектра действия — электрохимически активированных водных растворов.

Отдельно следует обратить внимание на исследование системы водоподготовки для гемодиализа, которая используется для одновременного лечения нескольких пациентов. Эта система требует большого количества очищенной обратноосмотической воды, однако существенным недостатком этого метода является образование биопленок в гидравлической системе диализных аппаратов. Результаты показали, что комбинированная дезинфекция в сочетании с гипохлоритом натрия уменьшила покрытие биопленкой и среднюю толщину биопленки, изменение которых оценивали методом сканирующей электронной микроскопии, и может повысить эффективность удаления биопленок в клинической практике [16].

Для получения пяти литров раствора, содержащего надлимонную кислоту в концентрированном растворе лимонной кислоты, использовали пять литров исходного водного раствора лимонной кислоты концентрацией 500 г/л (50%-ный раствор). На электроды электрохимического реактора (3) подавалось напряжение 9 В, при котором через реактор протекал ток силой 8 А.

Функциональные свойства полученного заявленным способом раствора проверяли в сравнении с действующими правилами и технологиями очистки и дезинфекции гидравлической системы гемодиализных аппаратов и в соответствии со специально разработанной методикой, которая включала следующие стадии: сбор отложений с внутренних поверхностей капилляров отработанных фильтров диализата, формирование стандартных образцов твердого осадка из суспензии, сравнительная оценка скорости растворения стандартных образцов в исследуемых растворах.

Современные аппараты для гемодиализа, изготавливаемые компаниями B Braun и Fresenius, снабжены сменными полволоконными фильтрами для улавливания загрязнений в диализате перед его протоком через гемодиализатор или гемофильтр в процессе процедуры гемодиализа или гемодиализации. Эти фильтры, по два включенных последовательно в каждом аппарате для гемодиализа, периодически заменяют на свежие по достижении определенного уровня пропускной способности (гидравлического сопротивления). Субстанция, значительная часть которой задерживается фильтрами, представляет собой органоминеральную микроколлоидную взвесь, содержащую продукты деятельности микроорганизмов в биопленках, а также комплексные химические соединения, образующие отложения на внутренних поверхностях гидравлической системы аппаратов для гемодиализа. О вреде субстанций, образующих подобные отложения, упоминалось в работе [5] с примечанием авторов о проверке данного утверждения.

Для получения образцов твердых отложений на первой стадии производилась очистка фильтрующей поверхности полволоконных фильтров на аппаратах типа РЕНОФИЛЬТР и РЕДОКС. Использовались ограниченные объемы дистиллированной воды с различным окислительно-восстановительным потенциалом и pH. Полученный после очистки фильтров коллоидный рас-

твор взвесей упаривали под вакуумом при температуре 40° до получения кашецеобразного осадка. Этим осадком заполняли полусферические лунки прозрачных таблеток из оргстекла объемом приблизительно 2 мм³ (диаметр 2,0 мм, глубина 1,0 мм).

После высушивания при температуре 40° указанные таблетки помещали в миниатюрные чашки Петри, заполненные одинаковыми объемами исследуемых растворов: лимонной кислоты и лимонной кислоты с электрохимически синтезированной надлимонной кислотой (по 20 мл), которые выдерживали при различной температуре, периодически наблюдая в микроскоп за состоянием высушенного осадка в лунке таблетки и отмечая время до полного растворения образца.

Раствор лимонной кислоты концентрацией 500 г/л (50 %-ный) перед исследованием предварительно разбавляли дистиллированной водой в сто раз (до 0,5%-ного), что близко по концентрации к стандартному раствору, приготавливаемому в автоматическом режиме гемодиализным аппаратом в процессе процедуры очистки и дезинфекции. Таким же образом приготавливали раствор по настоящему изобретению, модифицированный электрохимическим воздействием. В данном растворе с фактической концентрацией 499,5 г/л лимонной кислоты содержится электрохимически синтезированная надлимонная кислота в концентрации 0,5 г/л. Таким образом, модифицированный раствор лимонной кислоты представляет собой 0,05 %-ный раствор надлимонной кислоты в концентрированном растворе лимонной кислоты. Далее этот электрохимически модифицированный раствор также в сто раз разбавляли дистиллированной водой до суммарной концентрации кислот 5 г/л (0,5%).

Полученные результаты подтвердили эффективность предложенного технического решения, которое позволит уменьшить воздействие высокой температуры на термочувствительные детали гидравлических систем аппаратов для гемодиализа, сократить время технического обслуживания между сеансами гемодиализа и обеспечить полную очистку от органоминеральных отложений и биопленок гемодиализного аппарата.

Технический результат предложенного решения состоит в расширении функциональных свойств концентрированного раствора лимонной кислоты путем получения соответствующего нормативным параметрам раствора для использования в системе автоочистки (декальцинации и удаления окислов железа) и дезинфекции (удаления биопленок) в аппаратах для гемодиализа при пониженной температуре (менее 80°С).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, для очистки и дезинфекции аппаратов можно использовать полученный раствор надлимонной кислоты. В результате такого применения происходит уничтожение биопленок в гидравлической системе диализного аппарата, а также ускорение процессов растворения органоминеральных карбонатных отложений при пониженной температуре разбавленного раствора модифицированной лимонной кислоты.

Практическое осуществление программы импортозамещения и обеспечения медицинских учреждений высококачественными дезсредствами нового поколения в необходимом объеме в настоящее время получило аль-

тернативное развитие благодаря созданию принципиально нового подхода к электрохимическому синтезу средств универсального назначения на месте потребления.

Получаемые 20 литров в час специального средства эквивалентны 600 литрам рабочего раствора, разбавленного очищенной для гемодиализа водой в соотношении 1:30.

Простота эксплуатации и пролонгированные гарантийные сроки аппарата отечественного производства существенно сокращают расходы, как в части технического обслуживания оборудования, так и расходных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяченко И. В. Очистка и дезинфекция диализного оборудования [Электронный ресурс]. И. В. Дьяченко, А. А. Жураков. — URL: https://mks.ru/library/conf/biomedpribor/2000/sec08_05.html (дата обращения 17.09.2024).
2. Patent CN 113545364 A. Preparation method of mixture of hydrogen peroxide and peracetic acid / 褚培忠, 陈杭, 毛斌杰; Stanley Biotechnology Hangzhou Co Ltd. — Priority to CN202110915935.2A 2021-08-10; Publication of CN113545364A 2021-10-26.
3. Nelson D. L. Lehninger Principles of biochemistry / D. L. Nelson, M. M. Cox. — Fifth edition. — New York: W. H. Freeman and company. — 2008. — 1130 p.
4. Бахир В. М. Эффективность и безопасность химических средств для дезинфекции, предстерилизационной очистки и стерилизации / В. М. Бахир, В. И. Вторенко, Б. И. Леонов, С. А. Паничева, В. И. Прилуцкий // Дезинфекционное дело. — 2003. — № 1. — С. 29–36.
5. Дульнева Л. В. Современная практика дезинфекции аппарата «Искусственная почка» / Л. В. Дульнева, В. А. Лазеба, А. В. Смирнов, Е. Д. Суглобова // Нефрология. — 2005. — Т. 9. — №3. — С. 28–34.
6. Patent KR 10-2353182 B1. Percitric acid aqueous solution and method for producing the same / 이승훈, 이세영, 이재영, 이준영. — Priority to KR1020190167115A 2019-12-13; Publication of KR102353182B1 2022-01-18.
7. Patent US20100120913A1. Resin catalyzed and stabilized peracid compositions and associated methods / Brian G. Larson, Daryl J. Tichy; Axenic Global LLC. — Priority to US12/617,355 2009-11-12; Publication of US20100120913A1 2010-05-13.
8. Patent US6949178B2. Electrochemical method for preparing peroxy acids / Charles L. K. Tennakoon, K. Scott McKenzie, Michelle Will, Elizabeth I. H. McGrew; LYNNTECH Inc. — Priority to US10/191,815 2002-07-09; Publication of US6949178B2 2005-09-27.
9. Koppenol W. H. The Haber-Weiss cycle—70 years later // Redox Report. — 2001. — Т. 6. — №. 4. — С. 229–234.
10. Bakhir V. M. Electrochemical activation: inventions, systems, technology / V. M. Bakhir, S. A. Panicheva, V. I. Prilutsky, V. G. Panichev. — Moscow. — 2021. — 660 p.
11. Habihirwe P. et al. Compliance with good practice guidelines for the prevention of vascular access infections: the multi-centre PHYDEL survey in French haemodialysis units // Journal of Hospital Infection. — 2023. — Т. 142. — С. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2023.09.007>
12. Barrett A. et al. Measuring the efficacy of routine disinfection methods on frequently used physical therapy equipment // Antimicrobial Stewardship & Healthcare Epidemiology. — 2023. — Т. 3. — №. S2. — С. s64-s65. DOI: <https://doi.org/10.1017/ash.2023.311>
13. Novakova G. et al. Serum Iodine and Bromine in Chronic Hemodialysis Patients—An Observational Study in a Cohort of Portuguese Patients // Toxics. — 2023. — Т. 11. — №. 3. — С. 247. <https://doi.org/10.3390/toxics11030247>
14. Abdoh Q., Alnees M. Occult HBV infection among chronic hemodialysis patients and its role in viral transmission // J Clin Med Img Case Rep. — 2023. — Т.3. — № 4. — 1538 p. DOI:10.55920/2771-019X/1538
15. Pogorelov A. G. et al. Disintegration of bacterial film by electrochemically activated water solution // Bulletin of experimental biology and medicine. — 2018. — Т. 165. — №. 4. — С. 493–497. doi: 10.1007/s10517-018-4202-y
16. Tange Y., Murata A., Yoshitake S. Efficacy of combined disinfection with a nitric oxide donor in controlling biofilm formation on the reverse osmosis water pathway for hemodialysis // Journal of Water and Health. — 2023. — Т. 21. — №. 10. — С. 1591–1599. <https://doi.org/10.2166/wh.2023.220>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Вторенко Владимир Иванович — д.м.н., профессор, Президент ГБУЗ «Городская клиническая больница № 52 Департамента здравоохранения города Москвы», ORCID: 0000-0002-8697-2841.

Ушакова Анжела Ильинична — заведующая отделением (дневной стационар гемодиализа), врач-нефролог высшей квалификационной категории, ГБУЗ «Городская клиническая больница № 52 Департамента здравоохранения города Москвы», ORCID: 0000-0002-3959-6281, SPIN-код: 5471-7436, AuthorID: 1084769.

Бахир Витольд Михайлович — д.т.н., научный руководитель ООО «Институт электрохимических систем и технологий Витольда Бахира», ORCID: 0000-0003-2747-4380, SPIN-код: 7755-0080, AuthorID: 270514.

Козлов Игорь Владимирович — к.т.н., главный технолог ООО «Институт электрохимических систем и технологий Витольда Бахира», SPIN-код: 8551-1874, AuthorID: 1188988.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Вторенко В.И. — концепция и дизайн исследования, анализ и систематизация данных.

Ушакова А.И. — сбор материала, обобщение данных.

Бахир В.М. — формирование стратегии научной работы, написание и корректировка итоговой редакции текста статьи.

Козлов И.В. — анализ и выработка тактики исследования и технико-технологических решений, поиск и анализ литературных источников, подготовка черновика рукописи.

ПОСТУПИЛА: 16.11.2024
 ПРИНЯТА ПОСЛЕ РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ: 27.01.2025
 ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2025