

1. Тестирование гидрогеля р-НЭМА в качестве имплантационного материала для замещения костно-хрящевых дефектов у животных / Э.Б. Макарова, М.А. Корч, Ф.А. Фадеев [и др.] // Вестник трансплантологии и искусственных органов. – 2022. – Т. 24, № 2. – С. 71–82.
2. Ferrogels ultrasonography for biomedical applications / F.A. Blyakhman, S.Y. Sokolov, A.P. Safronov [et al.] // Sensors. – 2019. – Vol. 19, № 18. – P. 3959.
3. Echogenic advantages of ferrogels filled with magnetic sub-microparticles / O.A. Dinislamova, A.V. Bugayova, T.F. Shklyar [et al.] // Bioengineering. – 2021. – Vol. 8, № 10. – P. 140.

Сведения об авторах

О.А. Динисламова* – старший преподаватель
П.А. Шабатов – ассистент
А.В. Бугаёва – ассистент
Ф.А. Бляхман – доктор биологических наук, профессор

Information about the authors

O.A. Dinislamova* – Senior Lecturer
P.A. Shabadrov – Department Assistant
A.V. Bugayova – Department Assistant
F.A. Blyakhman – Doctor of Sciences (Biology), Professor

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):

ODinislamova@gmail.com

УДК: 546.655

САМООЧИЩАЮЩИЕСЯ КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЦЕРИЯ

Косульникова Серафима Александровна, Киреева Александра Владимировна, Берняева Татьяна Владимировна

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Екатеринбург, Россия

Аннотация

Введение. В настоящее время наблюдается рост спроса на самодезинфицирующиеся гигиенические покрытия. Такие покрытия могут быть использованы для создания медицинских приборов, в пищевой промышленности. Наноконпозиты обладают множеством антимикробных механизмов (напрямую или в качестве фотокатализатора). Они способны участвовать в нарушении клеточной мембраны, при диффузии и разрушении внутренних компонентов клетки (ДНК, РНК и ферменты), а также в высвобождении ионов с антимикробной активностью. **Цель исследования** – изучение антибактериальной активности наноконпозитных материалов на основе наночастиц оксида церия. **Материал и методы.** В данной работе использовались композитные материалы на основе наночастиц оксида церия, заключенные в акриловую матрицу. В качестве модельных микроорганизмов использовались дрожжевые клетки *Saccharomyces cerevisiae*. В качестве источника УФ-излучения использовался ультрафиолетовый кварцевый облучатель ОУФК-01. Облучение проводилось в течение 60 минут без и с использованием пленки. Жизнеспособность клеток определяли путем оценки процента неокрашенных (живых) клеток в камере Горяева. **Результаты.** Воздействие исключительно ультрафиолетового излучения не оказывает значительного влияния на гибель дрожжевых клеток в течении 1 часа. Пленка на основе наночастиц оксида церия влияет на гибель микроорганизмов (дрожжевые клетки *Saccharomyces cerevisiae*). **Выводы.** Пленка на основе наночастиц оксида церия проявила себя в качестве самоочищающегося композитного материала.

Ключевые слова: наноконпозитные материалы, наночастицы оксида церия, антибактериальные покрытия, УФ, хлебопекарные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*.

SELF-CLEANING COMPOSITE MATERIALS BASED ON CERIUM OXIDE NANOPARTICLES

Kosulnikova Serafima Alexandrovna, Kireeva Alexandra Vladimirovna, Bernyaeva Tatyana Vladimirovna

Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin

Yekaterinburg, Russia

Abstract

Introduction. Currently, there is a growing demand for self-disinfecting hygienic coatings that can be used to create medical devices, in the food industry. Nanocomposites have many antimicrobial mechanisms (directly or as a photocatalyst). They are able to participate in the disruption of the cell membrane, during diffusion and destruction of internal cell components (DNA, RNA and enzymes), as well as in the release of ions with antimicrobial activity. This

research aims to investigate the antibacterial activity of nanocomposite materials based on cerium oxide nanoparticles. **Material and methods.** In this work, we used composite materials based on cerium oxide nanoparticles enclosed in an acrylic matrix. *Saccharomyces cerevisiae* yeast cells were used as model microorganisms. An ultraviolet quartz irradiator OUFK-01 was used as a source of UV radiation. Irradiation was carried out for 60 minutes with and without a film. Cell viability was determined by assessing the percentage of unstained (live) cells in a Goryaev counting chamber. **Results.** Exposure to ultraviolet radiation alone does not significantly affect yeast cell death within 1 hour. Cerium oxide nanoparticle-based film affects microorganism death (*Saccharomyces cerevisiae* yeast cells). **Conclusions.** Cerium oxide nanoparticle-based film has proven itself as a self-cleaning composite material.

Keywords: nanocomposite materials, cerium oxide nanoparticles, antibacterial coatings, UV, baker's yeast *Saccharomyces cerevisiae*.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении всей истории человечества люди сталкиваются с множеством угроз, среди которых инфекционные заболевания занимают особое место. Одним из основных путей заражения является контакт с предметами или поверхностями, загрязненными патогенными микроорганизмами. Опасность заключается в том, что вредоносные бактерии могут накапливаться на любых поверхностях, включая те, с которыми человек взаимодействует ежедневно, что значительно увеличивает риск заражения опасными инфекциями. Главной задачей становится уничтожение этих микроорганизмов и создание условий, которые предотвращают их размножение. Использование специальных антибактериальных материалов особенно важно в местах с высоким риском распространения бактерий, таких как больницы, школы, жилые помещения, общественные туалеты, транспорт, самолеты и другие места массового скопления людей.

Наноконпозиты обладают множеством антимикробных механизмов. Они способны участвовать в нарушении клеточной мембраны, при диффузии и разрушении внутренних компонентов клетки (ДНК, РНК и ферменты), а также в высвобождении ионов с антимикробной активностью. Благодаря своей способности наноконпозиты являются многообещающей альтернативой антибактериальным препаратам, поскольку обладают рядом антимикробных механизмов, включая нарушение клеточной мембраны [1].

Наночастицы диоксида церия выполняют антибактериальную функцию в организме. Благодаря своему химическому составу они способны преодолевать защитные барьеры организма, распределяться по организму и накапливаться в органах. Микроразмерные частицы сходного с наночастицами оксида церия состава уступают им в своей эффективности [2].

Низкая токсичность, а также уникальные окислительно-восстановительные и антирадикальные свойства делают наночастицы церия перспективным объектом для использования в биомедицинских целях [3].

Фотокатализом называют процесс, при котором происходит изменение скорости или возбуждения химических реакций под действием света в присутствии таких веществ, как фотокатализаторы. Качество работы фотокатализаторов зависит от ширины запрещенной зоны. Одни фотокатализаторы качественнее изменяют химическую реакцию в ультрафиолетовом спектре, а другие – в видимом [4]. В данной работе рассматривается действие фотокатализаторов в ультрафиолетовом спектре. Фотокатализ стал мощной антимикробной технологией, представляющей альтернативу традиционным химическим методам дезинфекции. Благодаря превосходной способности фотокатализа инактивировать широкий спектр вредных микроорганизмов, он рассматривается как жизнеспособная альтернатива традиционным методам дезинфекции. Кроме того, ведутся разработки и испытания фотокаталитических поверхностей, которые могут быть использованы для создания материалов с функцией самоочистки и самодезинфекции [5].

Цель исследования – изучение антибактериальной активности наноконпозитных материалов на основе наночастиц оксида церия.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В работе используется пленка на основе наночастиц оксида церия. Пленка толщиной 2 мм создана путем смешивания полиметилметакрилата, растворенного в дихлорэтане, с

наночастицами оксида церия. Затем полученная смесь оставлена до 24 часа до полного высыхания. Дрожжи являются модельным объектом микроорганизмов. В качестве питательной средой для дрожжей в данной работе использовался 4% раствор сахарозы. Суспензия, состоящая из дрожжей и 4% раствора сахара, оставлена на 24 часа в темном помещении при температуре 25-30°C для достижения стационарной фазы роста дрожжей. В качестве источника УФ-излучения использовался ультрафиолетовый кварцевый облучатель ОУФК-01. Подсчет клеток производился в камере Горяева по 5 большим квадратам. Чтобы отличить живые клетки от мертвых, использовался раствор 0,01% метиленового синего. Также рассчитана стандартная случайная ошибка для каждого образца при доверительном интервале $p=0,95$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для исследования самоочищающегося композитного материала на основе наночастиц оксида церия использован механизм фотокатализа при УФ-излучении (рис. 1). Облучение производилось с помощью лампы ОУФК-01 в течении 60 мин. В опыте с использованием пленки на основе наночастиц оксида церия и УФ-излучателем образцы дрожжей брались через каждые 15 минут.

На рис. 1 кривая зависимости биологического эффекта от времени воздействия УФ (кривая 1) имеет незначительный наклон, так как точки, соответствующие образцу дрожжевых клеток, не подвергшихся УФ-излучению и образцу, взятому через 60 мин после облучения, статистически значимо не различаются. Исходя из этого, УФ-излучение в течении 60 мин не имеет значительного пагубного влияния на дрожжевые клетки. Возможно, для гибели клеток нужна большая интенсивность УФ-излучателя или больше времени воздействия УФ-излучения при том же УФ-излучателе.

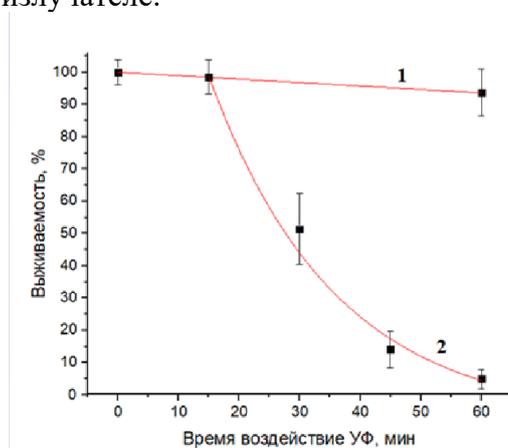


Рис. 1. Кривые зависимости биологического эффекта от времени воздействия УФ (кривая 1) и от времени воздействия УФ с использованием композитной пленки на основе наночастиц оксида церия (кривая 2).

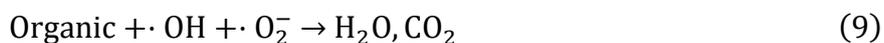
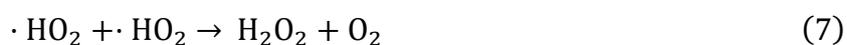
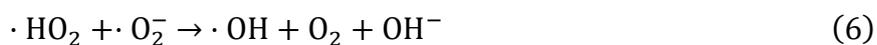
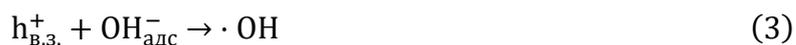
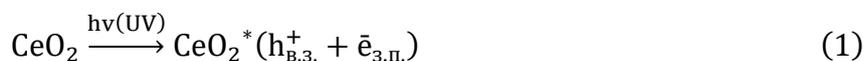
По кривой зависимости биологического эффекта от времени воздействия УФ с использованием композитной пленки на основе наночастиц оксида церия (кривая 2) видно, что за первые 15 минут облучения дрожжевые клетки практически не погибли, так как точки, соответствующие данным образцам, статистически значимо не различаются. Можно предположить недостаточное время воздействия УФ-излучения. Кроме того, точки, соответствующие образцам, взятых через 30, 45 и 60 мин после облучения, статистически значимо отличаются друг от друга, что подтверждает действие фотокатализа при использовании нанокompозитной пленки на основе наночастиц оксида церия в УФ-спектре.

ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно полученным экспериментальным данным, потеря жизнеспособности клеток происходит в течение первого часа после воздействия УФ-излучения с использованием композитной пленки на основе наночастиц оксида церия. В этот период в деградации клеток участвуют конвергентные и автокаталитические процессы. Активные формы кислорода (АФК) инициируют процессы автокаталитического окисления липидов, превращая их в

токсичные полярные гидроперекиси. Это приводит к нарушению целостности мембран, потере их активности, гибели клеток и дальнейшему окислительному повреждению [6].

Механизм реакций, при условии, что CeO_2 является проводником, заключается в следующем: под действием УФ-излучения электроны (\bar{e}) переходят из валентной зоны в зону проводимости, оставляя после себя "дырки" (h^+). Эти заряженные частицы запускают окислительно-восстановительные процессы. "Дырки" реагируют с гидроксильными анионами (OH^-), а электроны – с кислородом, образуя гидроксильные радикалы ($\cdot\text{OH}$) и супероксидные анионы ($\cdot\text{O}_2^-$). Эти активные формы кислорода могут преобразовываться в гидропероксидные радикалы ($\cdot\text{HO}_2$), обладающие сильными окислительными свойствами. В процессе фотоокисления воды электроны возвращаются, завершая цикл реакций. Данный механизм описан формулами (1-9).



Следует подчеркнуть, что кривая выживаемости микроорганизмов не следует простому экспоненциальному закону, а состоит из двух этапов: сначала наблюдается медленный этап фотокаталитического уничтожения, за которым следует более быстрый этап. Такая двухэтапная динамика была описана в исследованиях, посвященных уничтожению микроорганизмов на тонких пленках TiO_2 [6]. Профиль кривой выживаемости, наблюдаемый в данном исследовании, схож с двухэтапной моделью, что позволяет предположить, что она может быть описана аналогичными кинетическими моделями.

Бактерицидный эффект наночастиц объясняется либо прямым нарушением целостности клеточной мембраны, либо индукцией образования активных форм кислорода (АФК), таких как перекись водорода (H_2O_2), супероксид (O_2^-) и гидроксильный радикал ($\text{HO}\cdot$). Эти сильные окислители оказывают разрушительное воздействие на бактериальные клетки. Более мелкие наночастицы способны проникать через мембрану бактериальной клетки и ингибировать дыхательные ферменты, что дополнительно способствует образованию АФК и может приводить к повреждению ДНК клетки [7].

ВЫВОДЫ

1. Воздействие исключительно УФ-излучения не оказывает значительного влияния на гибель дрожжевых клеток в течении 1 часа.

2. Нанокompозитная пленка на основе наночастиц оксида церия оказывает губительное действие на микроорганизмы (дрожжевые клетки *Saccharomyces cerevisiae*) при воздействии УФ.

3. В работе приведены результаты действия фотокатализа в УФ спектре на основе нанокompозитной пленки с добавлением наночастиц оксида церия при взаимодействии с дрожжевыми клетками.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Небезина, А.В. Перспективы создания антимикробных препаратов на основе наночастиц меди и оксидов меди / А.В. Небезина, Т.В. Фадеева // Acta Biomedica Scientifica. – 2021. – Т. 6, № 2. – С. 37–50.
2. Dependence of nanoparticle toxicity on their physical and chemical properties / A. Sukhanova, S. Bozrova, P. Sokolov [et al.] // Nanoscale research letters. – 2018. – Vol. 13. – P. 1–21.

3. Нанокристаллический диоксид церия: свойства, получение, применение / В.К. Иванов, А.Б. Щербаков, А.Е. Баранчиков, В.В. Козик // Томск : Изд-во Том. ун-та, 2013. – 284 с.
4. Glossary of terms used in photocatalysis and radiation catalysis (IUPAC Recommendations 2011) / S.E. Braslavsky, A.M. Braun, A.E. Cassano [et al.] // Pure and Applied Chemistry. – 2011. – Vol. 83, № 4. – P. 931–1014.
5. Gamage, J. Applications of photocatalytic disinfection / J. Gamage, Z. Zhang // International Journal of Photoenergy. – 2010. – Vol. 2010, № 1. – P. 764870.
6. A review of the mechanisms and modeling of photocatalytic disinfection / O.K. Dalrymple, E. Stefanakos, M.A. Trotz, D.Y. Goswami // Applied Catalysis B: Environmental. – 2010. – Vol. 98, № 1-2. – P. 27–38.
7. Photocatalytic disinfection using titanium dioxide: spectrum and mechanism of antimicrobial activity / H.A. Foster, I.B. Ditta, S. Varghese, A. Steele // Applied microbiology and biotechnology. – 2011. – Vol. 90. – P. 1847–1868.

Сведения об авторах

С.А. Косульникова* – студент

А.В. Киреева – кандидат физико-математических наук, доцент

Т.В. Берняева – магистрант

Information about the authors

S.A. Kosulnikova* – Student

A.V. Kireeva – Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), Associate Professor

T.V. Bernyaeva – M.S. student

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):

serafimakosulnikovaghjk@gmail.com

УДК: 61:577.3

ВЛИЯНИЕ ПРИСТЕНОЧНОГО СЛОЯ В КОРОНАРНОЙ АРТЕРИИ НА ВЯЗКОСТЬ КРОВИ В ОБЛАСТИ СТЕНОЗА

Махаева Ксения Евгеньевна¹, Стародумов Илья Олегович¹, Бляхман Феликс Абрамович^{1,2}

¹ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России
Екатеринбург, Россия

Аннотация

Введение. Работа посвящена изучению вклада пристеночного бесклеточного слоя (CFL) в вязкость крови коронарного сосуда в области стеноза. **Цель исследования** – методом компьютерного моделирования продемонстрировать и оценить вклад пристеночного эффекта в вязкостные свойства крови. **Материал и методы.** Рассматривается гидродинамическая модель, учитывающая кровь как двухкомпонентную среду с дискретной фазой эритроцитов и жидкой фазой плазмы, и однокомпонентная реологическая модель, в которой для описания вязкости используется формула Карро. Для описания пристеночного слоя была сформулирована сила отталкивания эритроцитов от стенки сосуда, величина которой контролируется коэффициентом отталкивания. Моделирование гемодинамики было выполнено для осесимметричного сосуда с выраженным стенозом. **Результаты.** Было обнаружено, что толщина слоя CFL неоднородна и оказывает существенное влияние на кровоток в сосуде. Сравнительный анализ результатов моделирования с однокомпонентной моделью показал, что наличие слоя CFL приводит к увеличению эффективной вязкости на величину более 100%. **Выводы.** Эффект пристеночного бесклеточного слоя – важный реологический феномен, определяющий свойства крови и играющий значительную роль в гемодинамике коронарных артерий со стенозом. Однокомпонентные гидродинамические модели, не описывающие слой CFL, нуждаются в модификации для корректного описания кровотока в коронарных сосудах.

Ключевые слова: ИБС, коронарные артерии, стеноз, эритроциты, пристеночный слой, вязкость крови, компьютерное моделирование.

EFFECT OF THE WALL LAYER IN THE CORONARY ARTERY ON BLOOD VISCOSITY IN THE AREA OF STENOSIS

Makhaeva Ksenia Evgenevna¹, Starodumov Ilya Olegovich¹, Blyakhman Felix Abramovich^{1,2}

¹Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

²Ural State Medical University
Yekaterinburg, Russia

Abstract

Introduction. This work is devoted to the study of the contribution of the walled cell-free layer (CFL) to the hemorheology of a coronary vessel with stenosis. **The aim of the study** is to demonstrate and evaluate the contribution of the wall effect to the viscous properties of blood by computer simulation method. **Material and methods.** We consider