

М.Т. Набокова, К.Ш. Абдурашидова
СТАБИЛИЗАЦИЯ ТАУРИНОМ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА
В СОСТАВЕ ГИДРОГЕЛЕВЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ПВС
Научный руководитель: канд. хим. наук, доц. О.А. Дюдюн

Кафедра общей и биологической химии

Ставропольский государственный медицинский университет, г. Ставрополь

M.T. Nabokova, K.S. Abdurashidova
TAURINE STABILIZATION OF SILVER NANOPARTICLES
AS A PART OF HYDROGEL FILMS BASED ON PVS
Tutor: associate professor O.A. Dyudyun
Department of General and Biological Chemistry
Stavropol State Medical University, Stavropol

Резюме. Задача создания полимерных пленок, обладающих лечебным действием, содержащих антимикробные вещества, является актуальной. Приготовлены гидрогелевые композиции на основе поливинилового спирта, таурина и нитрата серебра в различных объёмных соотношениях. Для анализа их физико-химических характеристик использованы следующие методы: микроскопирование (Primo Star, 100X), спектрофотометрия (UNICO), контроль размеров наночастиц (Photocor Compact-Z), молекулярное моделирование (ArgusLab 4.0.1). Полученные материалы демонстрируют значительный потенциал для применения в регенеративной медицине, что открывает новые перспективы в разработке современных раневых покрытий и терапевтических систем.

Ключевые слова: гидрогелевые плёнки, наночастицы серебра, ПВС, таурин.

Resume. The task of creating polymer films with therapeutic effects and containing antimicrobial substances is urgent. Hydrogel compositions based on polyvinyl alcohol, taurine and silver nitrate in various volume ratios were prepared. The following methods were used to analyze their physico-chemical characteristics: microscopy (Primo Star, 100X), spectrophotometry (UNICO), nanoparticle size control (Photocor Compact-Z), and molecular modeling (ArgusLab 4.0.1). The obtained materials demonstrate significant potential for use in regenerative medicine, which opens up new prospects in the development of modern wound coatings and therapeutic systems.

Keywords: hydrogel films, silver nanoparticles, polyvinyl alcohol, taurine.

Актуальность. Современная медицина сталкивается с рядом серьезных проблем, среди которых особенно выделяются антибиотикорезистентность и необходимость разработки безопасных и эффективных антисептических материалов для лечения инфекционных поражений кожи и слизистых. Наночастицы серебра привлекают особое внимание благодаря своим выраженным антимикробным свойствам, однако их высокая реакционная способность требует применения стабилизаторов для предотвращения агрегации и снижения токсичности. Актуальным на наш взгляд является анализ влияния вводимых в гидрогелевую композицию стабилизаторов на ее свойства и формирование полимерных плёнок с антибактериальными свойствами.

Цель: научно-обоснованный анализ способа стабилизации таурином гидрогелевой сребросодержащей композиции с антисептическими и антибактериальными свойствами на основе поливинилового спирта.

Задачи:

- Синтезировать гидрогелевые композиции на основе поливинилового спирта, таурина и нитрата серебра, провести анализ физико-химических свойств гелей.
- Сформировать полимерные пленки, проанализировать их прочностные и антибактериальные характеристики.
- Провести молекулярное моделирование комплексов, определить предпочтительный механизм ковалентного связывания.

Материалы и методы. Поливиниловый спирт – это водорастворимый синтетический термопластичный полимер, он широко используется во многих направлениях медицины: хирургии, терапии, офтальмологии, педиатрии, санитарии, дерматологии, применяется при создании суспензий, мазей, аэрозолей, паст, пластырей; используется в качестве основы водорастворимых мазей при лечении кожных заболеваний; применяется для стабилизации растворов, суспензий, эмульсий [1]. В работе был приготовлен 4 % раствор (ПВС марки 098-15G, Китай). Таурин – серосодержащая аминокислота с антиоксидантными и мембраностабилизирующими свойствами [2]. Он присутствует в ранозаживляющих препаратах, которые назначаются при порезах, ожогах, для лечения ран после огнестрельных ранений. В работе использовали аптечный препарат (глазные капли) концентрацией 4%.

Хорошо известно, что нитрат серебра обладает антисептическими свойствами и используется в медицине в том числе для ухода за ранами и лечения кожных заболеваний. Он обладает противомикробным, вяжущим (в концентрации до 2%) и прижигающим (в концентрации более 5%) свойствами. Ионы серебра вызывают осаждение белков и тем самым проявляют бактерицидное действие. Наночастицы серебра (восстановленное серебро) взаимодействуют с активными группами ферментов и блокируют их, нарушая метаболические процессы в микробной клетке. В связи с этим Ag после кратковременного бактерицидного воздействия оказывает длительное бактериостатическое действие.

На 1-ом этапе были приготовлены две опытные группы растворов с вариативным соотношением компонентов: ПВС (4%) + нитрат серебра (1%) + таурин (4%). По истечении 24 часов наблюдения зафиксирована выраженная трансформация оптических характеристик растворов, связанная с процессом восстановления ионов серебра. Гидрогелевые пленки формировали свободным поливом в чашках Петри (объем геля 10 мл). Сушку осуществляли в термостате при 50°C в течение 4 часов.

Обнаружено, что свойства полимерных композитов с НЧ Ag в значительной степени зависят от концентрации НЧ в полимерной матрице и их морфологии, включающей в себя размер, форму и пространственную организацию, что непосредственно связано с выбором стабилизатора НЧ (таурин). Для синтеза гидрогелей с НЧ Ag, а также анализа их физико-химических характеристик использованы следующие методы: микроскопирование (Primo Star, 100X), спектрофотометрия (UNICO), контроль размеров наночастиц (Photocor Compact-Z). Качество пленок отслеживали с помощью стереомикроскопа МСП-1 (ЛОМО).

Результаты и их обсуждение. В ходе эксперимента полученные пленки продемонстрировали поверхность шероховатость и неровность, которая обусловлена не только агрегацией серебра и нарушением баланса компонентов, но и

технологическими факторами – сушкой, неравномерным нагревом и отсутствием перемешивания. Управляя этими параметрами, можно создавать более стабильные и эффективные материалы.

Контроль восстановления ионов Ag^+ осуществляли измерением оптической плотности и удельной электропроводности. Так, например, пока в образце присутствуют ионы серебра, то суммарный ток формируется из двух – ионного и электронного. После восстановления серебра ионная составляющая тока становится незначительной, что резко, почти в 2 раза увеличивает сопротивление образца (или снижает его удельную электропроводность). Динамическую вязкость полимерных композиций определяли по стандартной методике с помощью вискозиметра Оствальда (13-15 мПа·с).

Интересен тот факт, что ПВС сам по себе уже является восстановителем серебра из ионной формы AgNO_3 , о чём свидетельствует потемнение гелевых образцов. Это связано с остаточным содержанием ацетальдегида в гранулах ПВС, так как основным сырьем для получения ПВС служит поливинилацетат (ПВА). Ацетальдегид и виниловый спирт представляют собой кето-енольную таутомерную форму одного и того же соединения, из которых кето-форма (ацетальдегид) является намного более устойчивой [3].

В физиологических условиях ($\text{pH} = 7,35$) таурин практически полностью существует в виде биполярного иона, что способствует хемосорбции и дополнительной стабилизации свободных ионов серебра.

Для создания теоретических моделей связывания таурина с серебром в полимерной водорастворимой матрице использовали программу 3d-моделирования ArgusLab 4.0.1 [4]. В результате квантово-химических расчётов получены значения полной энергии молекулярного комплекса (E), а также разницы полной энергии составных элементов молекулярной системы и полной энергии самой молекулярной системы (дельта E). В программе расчётные данные представлены в атомной системе единиц Хартри, которые для удобства анализа были переведены в электронвольты (*коэффициент 27,211). Для всех химических систем проводилась полная оптимизация геометрических параметров.

Анализ антибактериального действия проводили с чистыми культурами грамположительных и грамотрицательных бактерий: *St. aureus* и *E. coli*. В результате эксперимента получено и обосновано, что показатель антибактериальной активности у наночастиц серебра (до 100 нм), стабилизованных таурином выше, чем у катионов серебра. Полученные данные позволяют предположить, что сочетания исследуемых компонентов можно рассматривать, как основы для создания новых перспективных лечебных раневых покрытий с антимикробными характеристиками.

Выводы.

1. Синтезированы гидрогелевые композиции на основе поливинилового спирта, таурина и нитрата серебра. Сформированы полимерные пленки.
2. Проведено молекулярное моделирование с целью выяснения оптимального механизма образования прочных ковалентно-связанных комплексов.
3. Проведён анализ физико-химических параметров полученных образцов.

4. Обнаружено устойчивое антибактериальное действие гидрогелевых пленок, что делает их перспективными для создания медицинских покрытий и перевязочных средств.

Литература

1. Грехнева, Е. В. Некоторые свойства пленок медицинского назначения на основе поливинилового спирта / Е. В. Грехнева, Е. А. Гераськина // Проблемы теоретической и экспериментальной химии: тез. докл. XXXI Рос. молодеж. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 90-летию со дня рождения проф. В. М. Жуковского. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2021. – С. 19.
2. Потапов, А. Л. Морфология серебряных наночастиц, сформированных в поливинилспиртовой пленке / А. Л. Потапов, Н. А. Иванова, В. Е. Агабеков // Полимерные материалы и технологии. – 2016. – Т. 2, № 3. – С. 24–29.
3. Дюдюн, О. А. Стабилизация таурином наночастиц серебра в матрице ПВС / О. А. Дюдюн, А. А. Комарова // Научный форум: Медицина, биология и химия: сб. ст. по материалам XLII междунар. науч.-практ. конф. – М.: МЦНО, 2021. – № 5(42). – С. 16–20.
4. ArgusLab 4.0.1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mybiosoftware.com/arguslab-4-0-1-molecular-modeling-graphics-drug-design-program.html>. – Дата доступа: [22.04.2025].