

УДК 677.11:620.192.67
DOI 10.47367/0021-3497_2023_3_138

**МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НЕТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ДЛЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПЕРЕВЯЗОЧНЫХ СРЕДСТВ***

**MULTIFUNCTIONAL NON-WOVEN MATERIALS
FOR INNOVATIVE DRESSINGS**

Н.С. ДЫМНИКОВА, А.П. МОРЫГАНОВ, М.Г. КИСЕЛЕВ

N.S. DYMNIKOVA, A.P. MORYGANOV, M.G. KISELEV

**(Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук)
(G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences)**

E-mail: nsd@isc-ras.ru

В работе показана возможность создания биологически активных перевязочных средств на основе наночастиц серебра, иммобилизованных на нетканом материале. Доказано, что, варьируя тип волокнистого материала

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание рег. № НИОКИР АААА-А21-122040500050-5)

и количественный состав его в текстильной матрице, можно управлять процессом выхода активных частиц из материала в рану, создавая тем самым условия для пролонгированного действия либо для ударной дозы. Установлены перспективы создания комбинированных биологически активных перевязочных средств с антимикробным и местноанестезирующим действием.

The paper shows the possibility of creating biologically active dressings based on silver nanoparticles immobilized on non-woven material. It is proved that varying the type of fibrous material and its quantitative composition in the textile matrix, it is possible to control the process of release of active particles from the material into the wound, thereby creating conditions for prolonged action or for a shock dose. Prospects for the creation of combined biologically active dressings with antimicrobial and local anesthetic action have been established.

Ключевые слова: нетканые материалы, наночастица серебра, перевязочные средства, сорбция, десорбция, целлюлозные и синтетические волокна.

Keywords: nonwovens, silver nanoparticles, dressings, sorption, desorption, cellulose and synthetic fibers.

Актуальность совершенствования раневых покрытий диктуется задачами современной реконструктивной хирургии и низкой эффективностью традиционных перевязочных средств. Кроме того, развитие концепции процесса ранозаживления предъявляет новые требования к раневым покрытиям, функции которых в настоящее время значительно расширились и заключаются не только в защите раны от внешних воздействий, но и в создании оптимальных условий для заживления [1, 2]. Еще недавно хирурги решали эту задачу с помощью марлевых бинтов. Бинты впитывали излишки экссудата, прикрывали рану от загрязнения, обеспечивали стерильность и... намертво присыхали к ране так, что процесс перевязки превращался в болезненную и травмирующую процедуру.

Современные перевязочные материалы должны соответствовать следующим требованиям [2]:

- защита от механических воздействий (давление, удар, трение), от загрязнения и химического раздражения;
- защита от вторичной инфекции;
- защита от высыхания и потери физиологических жидкостей (электролитов);
- сохранение адекватной температуры.

Кроме защиты раны повязка может также активно влиять на процессы заживления благодаря очистке раны, созданию микроклимата, способствующего заживле-

нию и поддержанию раны в покое. По современным представлениям повязка должна выбираться не только на основе типа и характеристики раны, но и быть удобной в использовании и обеспечивать высокое качество жизни пациента.

Получать изделия, в максимальной степени удовлетворяющие комплексу указанных требований, позволяют современные технологии изготовления нетканых материалов (НМ). Широчайшая гамма их уникальных свойств обеспечивается как за счет сочетания различных видов сырья, так и за счет применения оригинальных технологических приемов, использования структурных элементов и т.д. [3]. При этом необходимо обратить внимание на более короткий технологический цикл, а соответственно, и более низкую себестоимость процесса производства НМ в сравнении с технологиями выработки классических видов текстиля (тканей, трикотажа). Но все-таки проектирование структуры нетканых материалов – это работа технологов. А задачей текстильной химии является сделать это изделие функциональным, т.е. придать ему комплекс различных свойств, таких, как бактериостатические и антибактериальные, противовирусные, обезболивающие и т.д., которые позволят минимизировать развитие патогенных микроорганизмов как

на поверхности человеческого тела, так и в структуре самого материала в процессе его эксплуатации [4].

Ранее проведенными исследованиями в ИХР РАН на основании сравнительной оценки биологической активности льноволокна, обработанных различными антимикробными препаратами (сангвиритрин, диоксидин, хлоргексидина биглюконат, мирамистин, отечественные производные гуанидина и др.), осуществлен выбор данных препаратов и их концентрации, минимально необходимых для достижения антимикробного действия перевязочных средств и отсутствия аллергических эффектов при контакте с раневой поверхностью. Совместно с ООО «Предприятие «Владекс» наработаны экспериментальные и опытные образцы повязок атравматичных антимикробных сорбционных «Биолен» [5].

В настоящее время считают перспективными перевязочные средства, содержащие соединения серебра, которые обеспечивают проявление высокой эффективности в отношении возбудителей хирургической инфекции, устойчивых к метициллину и ванкомицину [6, 7]. Интерес к соединениям серебра обусловлен их относительно невысокой токсичностью для человека, но при этом низкой адаптацией к ним патогенных микроорганизмов [8].

В ИХР РАН разработана серия препаратов Нанотекс, содержащих наночастицы серебра (НЧ_{Ag}) [9...11]. На наш взгляд, эффективным приемом расширения свойств формируемых ультрадисперсных частиц серебра и увеличения длительности антимикробного эффекта готового изделия является включение в их стабилизирующую оболочку полимеров, способных повышать сорбционную способность НЧ_{Ag} по отношению к целлюлозе. В качестве таких полимеров могут выступать катионные полиэлектролиты.

Включение полиэлектролитов в стабилизирующую оболочку наночастиц серебра приводит к усилению взаимодействия последних с целлюлозным субстратом, способствует повышению устойчивости антимикробного эффекта серебросодержащего целлюлозного материала при его

многократных влажно-тепловых обработках и увеличению сроков его эксплуатации. Участие катионактивных полиэлектролитов в формировании структуры дисперсных частиц серебра приводит также и к повышению активности последних по отношению к биологическим объектам. Наличие в оболочке НЧ_{Ag} положительно заряженных групп способствует адсорбции наночастиц на отрицательно заряженной поверхности клетки, усиливает их взаимодействие с клеточной мембраной, что приводит к её дестабилизации, нарушению транспортных и барьерных функций.

В предыдущих исследованиях была доказана высокая антимикробная активность разработанного препарата по отношению к таким тест-культурам, как *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*. По данным микробиологических исследований, зоны ингибирования роста тест-культур вокруг образцов составляют более 2 мм при содержании наночастиц серебра не более $1,9 \cdot 10^{-3}$ моль/кг волокна.

Одним из важных факторов, оказывающих существенное влияние на свойства новых материалов широкого спектра применения, является правильный подбор сырья. При производстве высококачественных нетканых материалов рекомендуют применять главным образом целлюлозное сырье, а для обеспечения атравматичных свойств необходимо включать в структуру полотна гидрофобные полиэфирные или полипропиленовые волокна, которые обладают нулевой сорбцией водяных паров и не раздражают кожные покровы человека.

В связи с этим большой интерес представляет разработка методов иммобилизации наночастиц серебра на различные по химической природе волокна для создания медицинских изделий с регулируемой скоростью выхода активных реагентов из полимерного материала в физиологические среды и прогнозируемый уровень их воздействия на микроорганизмы.

Согласно данным, приведенным на гистограмме (рис. 1), сорбция НЧ серебра целлюлозными волокнами при обработке текстильных материалов препаратом Нанотекс в 2-4 раза выше, чем у поли-

эфирных волокон. При этом из волокон хлопка, льна и гидратцеллюлозных десорбируется за 6 часов в физраствор 50-63 % НЧ, из ПЭФ – 90 %.

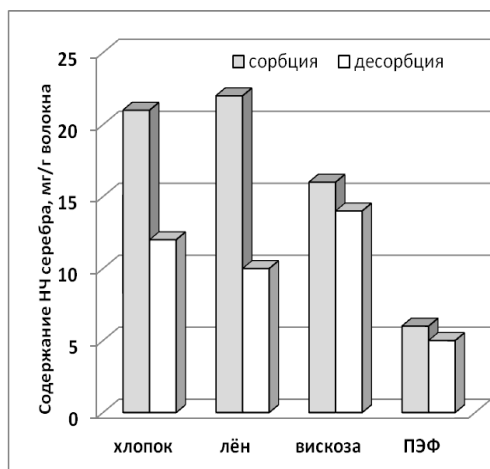


Рис. 1

Рациональным подходом к созданию функционализированных текстильных материалов является, с одной стороны, сочетание высокой биологической активности препаратов и, с другой стороны, использование современных возможностей изготовления материалов требуемой структуры и различного волокнистого состава, при которых обеспечивается заданная скорость выхода активных реагентов из полимерных матриц и прогнозируемый уровень их воздействия на микроорганизмы.

На рис. 2 приведена гистограмма, характеризующая кинетику десорбции НЧ_{Ag} из смеси разных по природе волокон в физраствор при температуре 35-36 °С.

Композиция волокон хлопок-ПЭФ по сравнению с лен-ПЭФ позволяет количественно увеличить десорбцию частиц серебра в физраствор с 0,08 до 0,12 мг, а введение вискозных волокон – до 0,16 мг, тем самым обеспечивая при необходимости ударную дозу. Сравнивая десорбцию из хлопкового и льняного волокна, можно сделать вывод, что хлопок достаточно быстро высвобождает антимикробный препарат, а волокна льна медленно отдают препарат, что позволит создать условия для пролонгированного действия. Эти

данные доказывают, что, меняя качественный и количественный состав текстильной матрицы, можно управлять процессом выхода активных частиц из материала в рану.

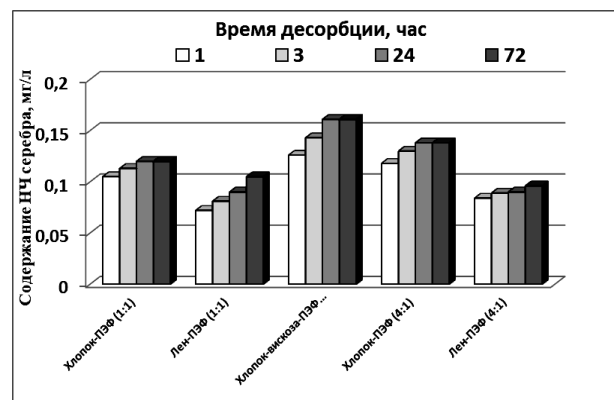


Рис. 2

Однако при оказании первой помощи весьма важным является наличие у перевязочных средств местнообезболивающего действия, позволяющего облегчить состояние пострадавшего и предотвратить болевой шок [12]. В этом аспекте была изучена возможность создания комбинированных биологически активных перевязочных средств с антимикробным и местноанестезирующим действием. Из ряда исследованных анестетических препаратов для иммобилизации на нетканом полотне был выбран лидокаин из-за его высоких функциональных свойств, доступности, низкой стоимости. Кроме того, лидокаин совместим с препаратом Нанотекс и не ухудшает его активность. Иммобилизацию анестетического препарата на нетканом материале осуществляли методом пропитки при температуре 20 °С в течение 10 мин при жидкостном модуле 10 с последующим 100 %-ным отжимом. Сушку образцов проводили на воздухе.

В табл. 1 представлены результаты медико-лабораторных испытаний экспериментальных образцов нетканых полотен на основе льноволокна с иммобилизованными местными анестетиками, проведенных в Институте хирургии им. А.В. Вишневского РАМН.

Т а б л и ц а 1

№ п/п	Характеристика волокнистого сырья	Содержание лидокаина, масс. %	Фактические значения тока (до появления болевого эффекта) в миллиамперах	Среднее значение тока в миллиамперах
1.	Полотно нетканое холсто-прошивное на основе смеси льняного волокна 50 % и волокна вискозного 50 % через 5 минут через 10 минут	5	2,3; 2,4; 2,4 2,5; 2,4; 2,5	2,37 2,47
2.	Полотно нетканое холсто-прошивное на основе смеси льняного волокна 70 % и волокна вискозного 30 % через 5 минут через 10 минут	5	2,7; 2,6; 2,6 2,7; 2,8; 2,9	2,63 2,80
3.	Нетканый материал на основе льняного волокна пов. пл. 60 г/м ² через 5 минут через 10 минут	4	2,7; 2,7; 2,6 2,7; 2,8; 2,7	2,67 2,73
4.	Полотно нетканое на основе льняного волокна	-	2,1; 2,1; 2,1	2,1

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при использовании нетканых полотен на основе льняного волокна с включением лидокаина порог обезболивания через 5 минут после нанесения повязки на рану увеличивается до 2,37 мА (для нетканых полотен, пропитанных раствором лидокаина из расчета 4 %) и до 2,47 мА через 10 минут, а при использовании нетканых холстопрошивных полотен на основе смеси модифицированных льняных волокон с лидокаином (5%) и вискозой – до 2,67 мА через 5 минут и до 2,73 мА через 10 минут.

Таким образом, проведенные поисковые исследования по созданию антимикробных материалов показали принципиальную возможность создания биологически активных перевязочных средств с иммобилизацией антимикробных и местноанестезирующих препаратов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Раны и раневая инфекция. Руководство для врачей / под ред. М.И. Кузина и Б.М. Костюченко. М., 1990.
2. Юданова Т.К. Современные раневые покрытия: получение и свойства // Химико-фармацевтический журнал. 2006. Т. 40. №2. С. 24...31.
3. Ватцл Альфред. Нетканые материалы и стиль жизни: сырье // Рынок легкой промышленности. 2005. №43.
4. Биологически активные перевязочные средства в комплексном лечении гнойно-некротических

ран. Методические рекомендации № 2000/156 / под ред. В.Д. Федорова. М., 2000. 39 с.

5. Галашина В.Н., Дымникова Н.С., Данилов А.Р., Морыганов А.П. Модифицированное льноволокно для медицинских изделий // Текстильная промышленность. 2011. № 2. С. 52...56.

6. Щербаков А.Б., Корчак Г.И., Сурмашева Е.В. Препараты серебра: вчера, сегодня, завтра // Фармацевтический журнал. 2006. № 5. С. 45...57.

7. Leaper D. Appropriate use of silver dressings in wounds: International consensus document // Intern. Wound Journal. 2012. 9. (1). S461-S464.

8. Singh M., Singh S., Prasad S., Gambhir I.S. Nanotechnology in medicine and Antibacterial Effect of Silver Nanoparticles // Digest J. of Nanomater and Biostruct. 2008. 3. (3). S115-S122.

9. Дымникова Н.С., Ерохина Е.В., Кузнецов О.Ю., Морыганов А.П. Исследование влияния субстантивности серебросодержащих препаратов к целлюлозному материалу на его биологическую активность // Российский химический журнал. 2017. Т. LXI, № 2. С. 3...12.

10. Дымникова Н.С., Ерохина Е.В., Морыганов А.П. Наночастицы серебра: зависимость антимикробной активности от условий получения // Российский химический журнал. 2019. Т. LXIII, № 2. С. 45...51.

11. Дымникова Н. С., Ерохина Е.В., Морыганов А.П., Кузнецов О.Ю., Королев С.В. Ресурсоберегающие технологии получения текстильных материалов и изделий с пролонгированными антиинфекционными свойствами // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2020. №6. С. 122...127.

12. Адамян А.А. Современная методология местного лечения ран и перспективы её развития // Современные подходы к разработке и клиническому применению эффективных перевязочных средств, шовных материалов и полимерных имплантантов: сб. тез. докладов V-й Междунар. конф. М.: Институт хирургии им. А.В. Вишневского РАМН, 2006. С. 19...20.

REFERENCES

1. Wounds and wound infection. A guide for doctors. Edited by M.I. Kuzin and B.M. Kostyuchenok. M., 1990. 591 p.
2. *Yudanova T.K.* Modern wound coatings: preparation and properties // *Chemico-pharmaceutical journal*. 2006. Vol. 40. No. 2. Pp. 24-31.
3. *Watzl Alfred.* Non-woven materials and lifestyle: raw materials // *Light industry market*. 2005. №43.
4. Biologically active dressings in the complex treatment of purulent-necrotic wounds. Methodological recommendations No. 2000/156 / Ed.V.D. Fedorova. M., 2000. 39 p.
5. *Galashina V.N., Dymnikova N.S., Danilov A.R., Moryganov A.P.* Modified flax fiber for medical devices // *Textile industry*. No. 2. 2011. Pp. 52-56.
6. *Sheherbakov A.B., Korchak G.I., Surmasheva E.V.* Silver preparations: yesterday, today, tomorrow // *Pharmaceutical Journal*. 2006. No. 5. Pp. 45-57.
7. *Leaper D.* Appropriate use of silver dressings in wounds: International consensus document // *Intern. Wound Journal*. 2012. 9. (1). S461-S464.
8. *Singh M., Singh S., Prasad S., Gambhir I.S.* Nanotechnology in medicine and Antibacterial Effect of Silver Nanoparticicles // *Digest J. of Nanomater and Biostruct*. 2008. 3. (3). S115–S122.
9. *Dymnikova N. S., Erokhina E.V., Kuznetsov O.Yu., Moryganov A.P.* Investigation of the effect of the substantiality of silver-containing preparations to cellulose material on its biological activity // *Russian Chemical Journal*. 2017. Vol. LXI, No. 2. Pp. 3-12.
10. *Dymnikova N.S., Erokhina E.V., Moryganov A.P.* Silver nanoparticles: dependence of antimicrobial activity on the conditions of production // *Russian Chemical Journal*. 2019. Vol. LXIII, No. 2. Pp. 45-51.
11. *Dymnikova N. S., Erokhina E.V., Moryganov A.P., Kuznetsov O.Yu., Korolev S.V.* Resource-saving technologies for obtaining textile materials and products with prolonged anti-infective properties // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2020. №6(390). Pp.122-127.
12. *Adamyan A.A.* Modern methodology of local treatment of wounds and prospects of its development // *Sb. tez. reports of the V-th International Conference "Modern approaches to the development and clinical application of effective dressings, suture materials and polymer implants"*. M.: A.V. Vishnevsky Institute of Surgery of the Russian Academy of Medical Sciences, 2006. Pp. 19-20.

Рекомендована организационным комитетом IV Международного научно-практического симпозиума «Технический текстиль России: нетканые материалы, сырье, реинжиниринг». Поступила 07.03.23.