

ГИДРОСКРЕПЛЕННЫЙ НЕТКАНЫЙ СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩИЙ МАТЕРИАЛ В ЛЕЧЕНИИ АСЕПТИЧЕСКИХ РАН

¹Довнар Р. И. (*dr_ruslan@mail.ru*), ¹Смотрин С. М. (*s.smotrin@mail.ru*),
²Ануфрик С. С. (*anufrik@grsu.by*)

¹УО «Гродненский государственный медицинский университет», Гродно, Беларусь

²УО «Гродненский государственный университет им. Я. Купалы», Гродно, Беларусь

Введение. Актуальной проблемой хирургии является поиск новых и перспективных перевязочных материалов для лечения ран. Одним из вариантов может стать гидроскрепленный нетканый материал с наночастицами серебра, полученными методом лазерной абляции.

Цель исследования. Изучение влияния гидроскрепленного нетканого материала, содержащего наночастицы серебра разных размеров, на заживление экспериментальной асептической кожной раны, а также влияние данного перевязочного материала на показатели общего и биохимического анализов крови и определение их возможной токсичности на печень, почки и миокард.

Материал и методы. Наночастицы серебра получали методом лазерной абляции в жидкости. Ранозаживляющий эффект оценивали на модели асептической кожной раны у лабораторных белых крыс. После заживления раны производился забор крови для выполнения общего и биохимического анализов. Токсическое влияние гидроскрепленного перевязочного материала на печень, почки и миокард оценивалось патоморфологически и по изменениям в биохимическом анализе крови.

Результаты. Полученные данные продемонстрировали ускорение заживления экспериментальной асептической кожной раны при использовании наночастиц серебра на 9,2-15,6% и отсутствие токсического влияния наночастиц серебра на печень, почки, миокард, а также существенных изменений в показателях общего и биохимического анализов крови.

Выводы. Гидроскрепленный нетканый материал с наночастицами серебра ускоряет заживление асептической кожной раны, при этом не оказывает токсического влияния на печень, почки и миокард. Может применяться в клинической практике после дополнительного изучения.

Ключевые слова: раневые покрытия, экспериментальная асептическая рана, наночастицы серебра.

Введение

Раневым процессом называют сложный комплекс биологических реакций в ответ на повреждение органов и тканей, состоящий, по современной международной классификации, из четырех фаз: гемостаз, воспаление, пролиферация и ремоделирование [1]. В каждой из фаз имеются свои клетки и медиаторы, участвующие в заживлении, к тому же отличающиеся от вида раны, механизма повреждения и ряда других факторов [1]. Именно поэтому создать универсальную, стимулирующую заживление и пригодную во всех случаях повязку до настоящего времени не удалось. В связи с изложенным выше актуальной проблемой хирургии является экспериментальный поиск новых и перспективных раневых покрытий.

Серебро и его соединения используются в медицине с древности. В качестве антисептиков массовое применение препаратов серебра началось в 70-е годы XIX века. Именно тогда началось активное научное изучение данного металла и его соединений, что привело к открытию его противовирусной, антибактериальной и иммуномодулирующей активности [2]. Появление антибиотиков значительно снизило интерес к лечебным свойствам серебра и его соединений. Однако к концу XX века стали отчетливо видны многие недостатки антибиотиков, прежде всего из-за развития антибиотикорезистентности микроорганизмов. Кроме того, активное становление и бурное развитие нанотехнологии в последние десятилетия привело к появлению и

всестороннему изучению нового класса веществ – наночастиц, свойства которых в ряде случаев являются уникальными в сравнении с цельным металлом [3]. При этом форма, свойства, размеры наночастиц будут зависеть от способа их получения [4].

Метод лазерной абляции – эффективный и современный способ получения наночастиц металлов, в частности серебра [5, 6]. Данным методом могут быть получены наночастицы серебра, золота, переходных металлов, которые могут различаться формой, размерами, структурой и степенью агрегации, что было продемонстрировано в более ранних работах [7, 8]. Сущность механизма лазерной абляции металлов заключается во взаимодействии плотных паров жидкости с расплавленным слоем металла на поверхности мишени. При этом свойства генерируемых наночастиц зависят от энергетических и временных параметров лазера и внешней среды (атмосфера, жидкость, вакуум). Оптические свойства наночастиц связаны с их размерами и изменяются при их агрегации. Это связано с тем, что при агрегации наночастиц поверхностные электроны отдельной наночастицы захватываются другими наночастицами и мигрируют по поверхности образующегося кластера. При этом энергия поверхностного плазмонного резонанса снижается, вызывая батохромное смещение полосы поглощения наночастиц. Предполагается, что данный метод будет эффективен для получения наночастиц серебра для введения в состав раневых покрытий природного или синтетического происхождения.

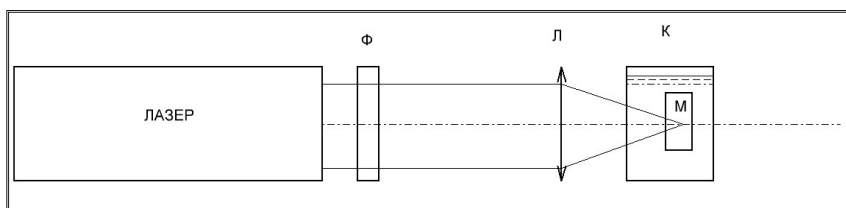
В связи с вышеизложенным **целью** настоящего исследования стало изучение влияния гидроскрепленного нетканого материала, содержащего наночастицы серебра разных размеров, на заживление экспериментальной асептической кожной раны, а также влияние данного перевязочного материала на показатели общего и биохимического анализов крови и определение их возможной токсичности на печень, почки и миокард.

Материал и методы

В качестве экспериментальных животных были взяты 40 беспородных половозрелых белых крыс-самцов в возрасте от 6 месяцев до 1 года со средней массой $280,2 \pm 31,2$ г, полученных из вивария УО «Гродненский государственный медицинский университет». Все этапы эксперимента выполняли в условиях адекватной анестезии с разрешения этического комитета УО «Гродненский государственный медицинский университет», а также в соответствии с «Европейской Конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях» (Страсбург, 1986).

Гидроскрепленный нетканый материал аквапан производства ОАО «Светлогорск Химволокно» (Республика Беларусь) с поверхностной плотностью 40 г/м^2 был использован нами в качестве подложки для изучаемого перевязочного материала. Данный нетканый материал характеризуется особой прочностью на разрыв, низкой миграцией волокон при механическом воздействии на материал, мягкостью и высокими показателями тактильной комфортности, близкими по эффекту к натуральному хлопку.

Наночастицы серебра получали методом лазерной абляции в жидкости на установке, схема которой изображена на рисунке 1.



ЛАЗЕР – Nd: YAG лазер; Ф – светофильтр СЗС-23; Л – фокусирующая линза с $f=20$ мм; К – кварцевая кювета с жидкостью; М – мишень

Рисунок 1. – Схема экспериментальной установки, используемой для получения наночастиц

Согласно рисунку 1, излучение лазера, проходя через светофильтр, фокусируется линзой в кварцевой кювете с дистиллированной водой, в которой находится серебряная мишень (слиток серебра пробы 999,9 Национального банка Республики Беларусь).

Источником излучения являлся Nd³⁺: YAG-лазер, работающий на второй гармонике. Для исключения проникновения излучения лазера на основной частоте генерации использовался светофильтр СЗС-23. Параметры излучения лазера: длина волны 2-й гармоники излучения – $\lambda=532$ нм, длительность светового импульса по

полувысоте – $\tau=16$ нс, энергия в импульсе равнялась $E_{\text{ген}}=70$ мДж, 135 мДж и 270 мДж. Диаметр сфокусированного лазерного пучка был равен 6,0 мм. Плотность мощности в лазерном пятне при указанных энергиях генерации составляла $2 \cdot 10^7$ Вт/см², $3 \cdot 10^7$ Вт/см², $6 \cdot 10^7$ Вт/см². При экспозиции 20 минут и частоте следования лазерных импульсов 10 Гц полная вложенная энергия абляции равнялась 840 Дж, 1620 Дж и 3200 Дж, соответственно.

Исследования размеров наночастиц серебра были проведены на атомно-силовом микроскопе (АСМ). Оценка средних размеров отдельных наночастиц на поверхности при энергии абляции 70 мДж составила 70 нм, а при 270 мДж – 67 нм. Сравнение энергии абляции серебра показывает, что минимальный средний размер наночастиц соответствует энергии возбуждения 135 мДж и составляет 50 нм.

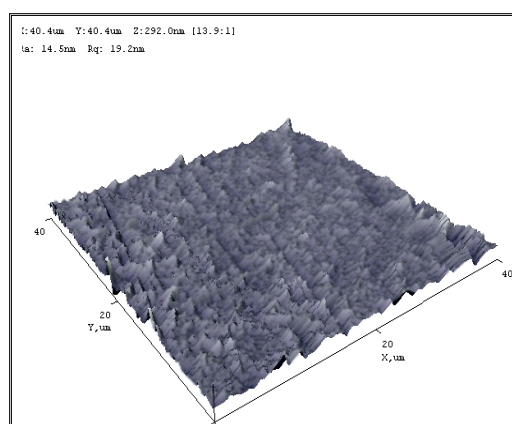


Рисунок 2. – Микроморфология поверхности подложки с наночастицами серебра

На рисунке 2 изображена микроморфология поверхности площадки 40×40 мкм, образованная наночастицами серебра из концентрированного раствора при энергии абляции 270 мДж.

Экспериментальные крысы были разделены на 5 групп по 8 особей: «контроль» – крысы, в лечении которых в качестве перевязочного материала использовался обычный аквапан; «опыт-1» – крысы, у кото-

рых применялся аквапан с наночастицами серебра средним размером 70 нм, «опыт-2» – крысы, в лечении которых использовался аквапан с наночастицами серебра размерами 50 нм и «опыт-3» – крысы, в лечении которых применен аквапан с наночастицами серебра средним размером 67 нм, «норма» – интактные животные, которые не оперировались, их показатели использовались в качестве отрицательного контроля.

Модель полнослойной асептической плоскостной кожной раны создавали по детально проработанной нами методике [9]. Сразу же

после создания модели асептической раны в подшитую в области её расположения предохранительную камеру с крышечкой помещали стерильный перевязочный материал, укрывающий всю раневую поверхность с заступлением за края раны на 0,5 см: в контрольной группе – обычный аквапан, в опытных группах – аквапан с наночастицами серебра разных размеров.

Под эфирным наркозом ежедневно осуществлялись перевязки животных, в ходе которых выполняли извлечение перевязочного материала, фотографирование раны и помещения нового стерильного перевязочного материала. Площадь раны измеряли по фотографии последней после калибрования с помощью программы Scion Image 4.0 (NIH, USA). Результаты выражали в процентах от исходной площади. День нанесения ран считали нулевым днём эксперимента.

Выведение крыс из эксперимента осуществляли после полного заживления раны на 21-е сутки эксперимента путём декапитации, при этом производился забор крови, образцов ткани печени, миокарда, почек. Кроме того, для контроля у восьми интактных животных (группа «норма»), у которых не производились какие-либо манипуляции, произведен забор крови с определением биохимических показателей и общего анализа крови.

Образцы ткани печени, миокарда, почек выведенных из эксперимента крыс после подготовки изучали в световом микроскопе.

Для выполнения биохимического анализа забирали 0,5 мл сыворотки крови, после чего на автоматическом биохимическом анализаторе Konelab 30i определяли в ней основные биохимические показатели: АЛТ, АСТ, мочевины, креатинин, общий белок, билирубин, глюкоза. Количество лейкоцитов крови определяли с использованием счётной камеры Горяева по общепринятой методике. Лейкоцитарную формулу

подсчитывали в мазках крови, окрашенных по Романовскому.

Производился расчёт индекса сдвига лейкоцитов по Ябучинскому и лейкоинтоксикационного индекса [9].

Статистическую обработку результатов осуществляли с использованием программы Statistica 10.0. Различия между группами оценивали с помощью непараметрического U-критерия Манна-Уитни при заданном 5% уровне значимости.

Результаты и обсуждение

На рисунке 3 представлена динамика изменения площади асептической раны во времени по отношению к первоначальной при применении разных типов перевязочных материалов.

Данные, представленные на рисунке 3, демонстрируют, что в первые четверо суток наблюдается увеличение площади асептической раны по отношению к первоначальной. Данное явление отмечается во всех группах лабораторных белых крыс, однако наиболее значительно выражено в контрольной группе, где в качестве перевязочного материала применялся гидроскрепленный нетканый материал аквапан, который использовался в остальных группах как подложка. Площадь раны у крыс в контрольной группе на четвертые сутки увеличилась на 17,5% от первоначальной, в то время как в группах, где в качестве перевязочного материала использовался аквапан с наночастицами серебра, пик относительного увеличения раны приходился не на четвертые, а на вторые сутки – на 4,9-11,0%. При этом лучший эффект получен при применении наночастиц серебра размерами 67 нм. В последующие дни лечения, вплоть до полного заживления, уменьшение площади раны по отношению к первоначальной в опытных группах, где применялись наночастицы серебра, происходит

более интенсивно. При этом статистически достоверных различий в скорости заживления ран между тремя опытными группами с разными наночастицами серебра не выявлено.

Экспериментальная асептическая рана в группе животных, перевязки которых осуществлялись аквапаном (контрольная группа) зажила на ($M \pm \sigma$) $19,00 \pm 1,85$ сутки, в опытных группах, где в качестве перевязочного материала использовался аквапан с наночастицами серебра с размерами 70, 50 и 67 нм, рана зажила, соответ-

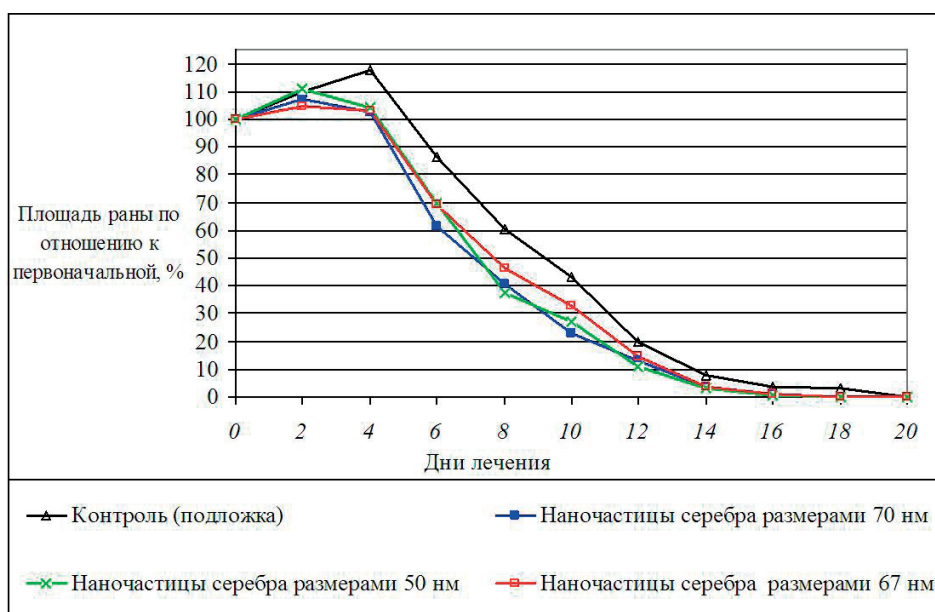


Рисунок 3. – Динамика изменения площади асептической раны при применении разных типов перевязочных материалов

ственно, на $16,88 \pm 0,99$, $16,00 \pm 1,51$ и $17,25 \pm 1,04$ сутки эксперимента.

Основные показатели биохимического анализа крови экспериментальных белых крыс при применении обычного акваспана (подложка) и гидроскрепленных нетканых материалов в сочетании с наночастицами серебра разных размеров отражены в таблице 1.

Анализ основных биохимических показателей плазмы крови экспериментальных белых крыс, представленных в таблице 1, при применении изучаемых перевязочных материалов показал следующее. Уровень белка в контрольной группе, животных в которой перевязывали обычным акваспаном, на 21-е сутки эксперимента был достоверно ниже, чем во всех опытных группах и в группе у интактных животных, что свидетельствует о скорейшей нормализации уровня данного показателя в крови при применении для лечения перевязочного материала, содержащего наночастицы серебра. Содержание уровней билирубина, АЛТ, АСТ, показатели мочевины, креатинина и глюкозы после заживления раны на 21-е сутки эксперимента как во всех опытных группах, так и в контрольной группе статистически достоверно не повышены относительно соответствующих значений интактных животных. Имеется лишь достоверное снижение уровня мочевины в группе «опыт-2» относительно интактных животных. Вышесказанное косвенно подтверждает отсутствие токсического поражения почек, печени, инсулярного аппарата поджелудочной железы при использовании для лечения ран перевязочного материала, содержащего наночастицы серебра, полученные методом лазерной абляции, после полного заживления раны. Имеется лишь тенденция к снижению уровня мочевины в группах «опыт-1» и «опыт-3» относительно уровня группы «контроль» и интактных животных ($p < 0,1$), а также снижения уровня креатинина во всех опытных группах относительно контрольной и группы интактных животных ($p < 0,1$).

Показатели общего анализа крови экспериментальных животных при применении обычного акваспана (подложка) и акваспана с нанесенными на него наночастицами серебра разных размеров представлены в таблице 2.

В соответствии с данными, представленными в таблице 2, статистически достоверных различий в показателях красной крови, лейкоцитов, формуле крови после заживления ран между контрольной группой, тремя опытными группами и показателями интактных животных не выявлено, за исключением снижения содержания эозинофилов в группе «опыт-3» относительно интактных животных ($p < 0,05$) и в группе «опыт-1» также относительно интактных животных ($p < 0,1$).

Статистически достоверных изменений в индексе сдвига лейкоцитов по Ябучинскому и лейкоинтоксикационному индексу в контрольной, опытных группах и в группе интактных животных после заживления раны не выявлено, что говорит об отсутствии выраженного воспалительного процесса в организме (независимо от

Таблица 1. – Основные биохимические показатели крови экспериментальных животных при применении разных типов перевязочных материалов

Показатель	Группа	Интактные животные	21-е сутки эксперимента
Белок, г/л	контроль	68,75 (64,50; 73,50)	57,63 (56,00; 59,00)*
	опыт-1		64,75 (63,00; 66,50)
	опыт-2		65,50 (64,00; 67,00)
	опыт-3		64,13 (62,00; 65,50)
Билирубин, мкмоль/л	контроль	3,64 (3,20; 4,00)	3,18 (2,15; 3,60)
	опыт-1		3,28 (2,25; 4,25)
	опыт-2		3,39 (2,85; 4,15)
	опыт-3		3,44 (3,00; 4,00)
АЛТ, Ед/л	контроль	48,50 (41,00; 55,00)	47,00 (42,00; 51,50)
	опыт-1		51,50 (50,00; 53,00)
	опыт-2		48,00 (44,50; 51,00) [§]
	опыт-3		51,00 (48,00; 53,50)
АСТ, Ед/л	контроль	54,88 (48,50; 61,50)	59,00 (54,00; 63,50)
	опыт-1		54,50 (52,00; 57,50)
	опыт-2		58,13 (55,00; 60,50)
	опыт-3		55,13 (50,50; 59,50)
Глюкоза, ммоль/л	контроль	10,50 (9,55; 11,55)	11,31 (9,70; 12,90)
	опыт-1		10,28 (9,35; 10,60)
	опыт-2		11,31 (10,00; 12,75)
	опыт-3		11,21 (9,40; 12,45)
Мочевина, ммоль/л	контроль	5,56 (5,25; 6,15)	5,56 (5,00; 6,10)
	опыт-1		4,64 (3,95; 5,55)
	опыт-2		4,38 (3,40; 5,45) [#]
	опыт-3		4,59 (3,85; 5,30)
Креатинин, мкмоль/л	контроль	51,63 (43,50; 58,50)	48,88 (42,50; 47,50)
	опыт-1		43,25 (40,50; 45,50)
	опыт-2		42,88 (42,00; 45,00)
	опыт-3		43,63 (39,50; 46,50)

Примечания:

1 # – данные статистически достоверны по отношению к интактным животным ($p < 0,05$);

2 * – данные статистически достоверны по отношению к интактным животным и всем опытным группам ($p < 0,05$);

3 § – данные статистически достоверны по отношению к группе «опыт-1» ($p < 0,05$)

типа применяемого из изучаемых перевязочного материала).

Патогистологическое исследование образцов печени, почек и миокарда контрольной, опытных групп и группы интактных животных каких-либо патоморфологических изменений не выявило, что говорит об отсутствии токсического воздействия изучаемых перевязочных материалов на данные органы.

Нормализация уровня белка в опытных группах по сравнению с контрольной группой на 21-е сутки эксперимента и отсутствие достоверных различий в содержании белка в опытных группах, в сравнении с интактными животными, свидетельствует о положительном влиянии на содержание белка применения в лечении ран перевязочного материала, содержащего наноча-

Таблица 2. – Показатели красной и белой крови экспериментальных животных при применении разных типов перевязочных материалов

Показатель	Группа	Интактные животные	21-е сутки эксперимента
Эритроциты, $\times 10^{12}/л$	контроль	8,17 (7,81; 8,52)	7,96 (7,50; 8,61)
	опыт-1		7,89 (7,15; 8,55)
	опыт-2		7,90 (6,95; 8,75)
	опыт-3		7,89 (7,45; 8,35)
Гемоглобин, г/л	контроль	146,25 (140,50; 151,00)	142,13 (138,50; 144,00)
	опыт-1		141,63 (137,00; 145,50)
	опыт-2		141,88 (138,00; 145,50)
	опыт-3		144,88 (142,50; 147,00)
Лейкоциты, $\times 10^9/л$	контроль	5,95 (5,52; 6,20)	5,95 (5,40; 6,35)
	опыт-1		5,94 (5,40; 6,40)
	опыт-2		5,90 (5,50; 6,20)
	опыт-3		5,95 (5,60; 6,50)
Палочкоядерные, %	контроль	2,63 (2,00; 4,00)	2,50 (1,50; 3,50)
	опыт-1		2,63 (1,50; 4,00)
	опыт-2		2,38 (1,50; 3,50)
	опыт-3		1,88 (1,00; 2,00)
Сегментоядерные, %	контроль	28,88 (24,00; 34,00)	32,63 (28,00; 35,50)
	опыт-1		32,25 (29,00; 35,00)
	опыт-2		32,25 (31,00; 34,50)
	опыт-3		33,25 (30,00; 36,50)
Эозинофилы, %	контроль	3,25 (2,00; 4,00)	2,25 (1,50; 3,00)
	опыт-1		1,88 (1,00; 2,50)
	опыт-2		2,38 (2,00; 3,00)
	опыт-3		1,75 (1,00; 2,50)*
Моноциты, %	контроль	5,75 (4,00; 7,00)	5,75 (5,00; 6,00)
	опыт-1		6,25 (4,00; 8,00)
	опыт-2		6,25 (4,50; 7,50)
	опыт-3		5,88 (3,50; 7,50)
Лимфоциты, %	контроль	59,50 (55,00; 65,50)	56,88 (54,50; 62,00)
	опыт-1		57,00 (56,00; 58,00)
	опыт-2		56,75 (54,50; 59,50)
	опыт-3		57,25 (55,50; 60,00)
Индекс сдвига лейкоцитов по Ябучинскому	контроль	0,55 (0,39; 0,65)	0,62 (0,49; 0,65)
	опыт-1		0,59 (0,52; 0,65)
	опыт-2		0,59 (0,55; 0,63)
	опыт-3		0,59 (0,53; 0,64)
Лейкоинтоксикационный индекс	контроль	0,47 (0,34; 0,59)	0,57 (0,43; 0,61)
	опыт-1		0,54 (0,47; 0,60)
	опыт-2		0,53 (0,49; 0,57)
	опыт-3		0,55 (0,47; 0,60)

стицы серебра, полученные методом лазерной абляции.

Об отсутствии токсического влияния перевязочного материала, содержащего наночастицы серебра, на печень и почки свидетельствует отсутствие достоверных повышений уровней билирубина, АЛТ, АСТ, мочевины и креатинина в плазме крови у крыс опытных групп относительно контрольной группы и группы интактных животных после заживления раны, а также патогистологическое исследование данных органов.

Выводы

1. Гидроскрепленный нетканый материал после нанесения на него наночастиц серебра, полученных методом лазерной абляции, ускоряет заживление экспериментальной асептической кожной раны у лабораторных животных в зависимости от размеров наночастиц на 1,8-3,0 дня, сокращая срок заживления на 9,2-15,6% в сравнении с перевязочным материалом без данных наночастиц.

2. Перевязочный материал на основе аквапана, содержащий наночастицы серебра, не обладает токсическим воздействием на клетки печени, почек, миокарда, после заживления раны статистически достоверно не повышает уровни основных биохимических показателей плазмы крови, не изменяет показатели красной и белой крови экспериментальных животных, лейкоформулу и лейкоцитарные индексы, а в сравнении с контрольной группой его применение способствует скорейшей нормализации уровня общего белка крови.

3. Гидроскрепленный нетканый материал с наночастицами серебра может быть рекомендован для дальнейшего изучения с целью внедрения его в клиническую практику.

Литература

1. Singh, S. The physiology of wound healing / S. Singh, A. Young, C. E. McNaught // Surgery (Oxford). – 2017. – Vol. 35, iss. 9. – P. 473-477.
2. Marx, D. E. Silver in medicine: The basic science / D. E. Marx, D. J. Barillo // Burns. – 2014. – Vol. 40, iss. 1. – P. S9-S18.

3. Synthesis paradigm and applications of silver nanoparticles (AgNPs), a review / H. D. Beyene [et al.] // Sustainable Materials and Technologies. – 2017. – Vol. 13. – P. 18-23.

4. Mechanisms of silver nanoparticle release, transformation and toxicity: a critical review of current knowledge and recommendations for future studies and applications / B. Reidy [et al.] // Materials. – 2013. – Vol. 6, iss. 6. – P. 2295-2350.

5. Иванов, А. М. Получение наночастиц при лазерной абляции металлических поверхностей в жидкости и исследование полученных структур оптическими методами / А. М. Иванов, Н. А. Мыслицкая, М. С. Капелевич // Изв. КГТУ. – 2011. – № 23. – С. 18-24.

6. Симакин, А. В. Образование наночастиц при лазерной абляции твердых тел в жидкостях / А. В. Симакин, В. В. Воронов, Г. А. Шафеев // Тр. ин-та общ. физики им. А. М. Прохорова. – 2004. – Т. 60. – С. 83-107.

7. Исследование морфологических особенностей наночастиц серебра в приповерхностных слоях стекла при их синтезе методом термообработки в парах воды / В. И. Егоров [и др.] // Оптический журнал. – 2013. – Т. 80, № 3. – С. 61-67.

8. Морфология тонких пленок наночастиц золота и серебра, адсорбированных на стеклянных подложках из коллоидных растворов / С. С. Ануфрик [и др.] // Методологические аспекты сканирующей зондовой микроскопии : сб. докладов XI Междунар. конф., Минск, 21-24 октября 2014 г. – Минск : Беларуская навука. – 2014. – С. 42-47.

9. Влияние перевязочного материала, содержащего наночастицы золота или серебра, на заживление экспериментальной раны / С. М. Смотрын [и др.] // Журнал

ommendations for future studies and applications. *Materials*. 2013;6(6):2295-2350. doi: 10.3390/ma6062295.

5. Ivanov AM, Myslickaja NA, Kapelevich MS. Poluchenie nanochastic pri lazernoj abljacii metallicheskih poverhnostej v zhidkosti i issledovanie poluchennyh struktur opticheskiimi metodami [Obtaining nanoparticles during laser ablation of metal surfaces in a liquid and studying the resulting structures by optical methods]. *Izvestija KGTU* [News of KGTU]. 2011;23:18-24. (Russian).

6. Simakin AV, Voronov VV, Shafeev GA. Obrazovanie nanochastic pri lazernoj abljacii tverdyh tel v zhidkostjah [Formation of nanoparticles during laser ablation of solids in liquids]. *Trudy IOFAN* [Transactions of IOFAN]. 2004;60:83-107. (Russian).

7. Egorov VI, Nashhekin AV, Obrazcov PA, Sidorov AI, Brunkov PN. Issledovanie morfologicheskikh osobennostej nanochastic serebra v pripoverhnostnyh slozhah stekla pri ih sinteze metodom termoobrabotki v parah vody [Investigation of the morphological features of silver nanoparticles in near-surface layers of glass during their synthesis by the method of heat treatment in water vapor]. *Opticheskii zhurnal* [Optical journal]. 2013;80(3):61-67. (Russian).

8. Anufrik SS, Ignatovskij MI, Sazonko GG, Tarkovskij VV. Morfologija tonkih plenok nanochastic zolota i serebra, adsorbirovannyh na stekljannyh podlozhkah iz kolloidnyh rastvorov [Morphology of thin films of gold and silver nanoparticles adsorbed on glass substrates from colloidal solutions]. In: *Metodologicheskie aspekty skanirujushhej zondovoj mikroskopii* [Methodological aspects of scanning probe microscopy]. Sbornik dokladov XI Mezhdunarodnoj konferencii; 2014 Okt. 21-24. Minsk: Belaruskaja navuka; 2014. p. 42-47. (Russian).

9. Smotryn SM, Dovnar RI, Vasilkov AJu, Prokopchik NI, Ioskevich NN. Vlijanie perevjazochnogo materiala, sodержashhego nanochasticy zolota ili serebra, na zazhivlenie jeksperimental'noj rany [The effect of dressing containing gold or silver nanoparticles on the healing of an experimental wound]. *Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta* [Journal of the Grodno State Medical University]. 2012;1:75-80. (Russian).

References

1. Singh S, Young A, McNaught CE. The physiology of wound healing. *Surgery*. 2017;35(9):473-477. doi: 10.1016/j.mpsur.2017.06.004.

2. Marx DE, Barillo DJ. Silver in medicine: The basic science. *Burns*. 2014;40(1):S9-S18. doi: 10.1016/j.burns.2014.09.010.

3. Beyene HD, Werkneh AA, Bezabh HK, Ambaye TG. Synthesis paradigm and applications of silver nanoparticles (AgNPs), a review. *Sustainable Materials and Technologies*. 2017;13:18-23. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2017.08.001>.

4. Reidy B, Haase A, Luch A, Dawson KA, Lynch I. Mechanisms of silver nanoparticle release, transformation and toxicity: a critical review of current knowledge and rec-

HYDROBONDED NONWOVEN SILVER-CONTAINING MATERIAL IN TREATMENT OF ASEPTIC WOUNDS

¹Dovnar R. I., ¹Smotryn S. M., ²Anufrik S. S.

¹Educational Institution "Grodno State Medical University", Grodno, Belarus

²Educational Institution "Yanka Kupala State University of Grodno", Grodno, Belarus

Background. The urgent problem of surgery is the search for new and promising bandaging materials for the treatment of wounds. One of the variants may be a hydrobonded nonwoven material with silver nanoparticles, obtained by the laser ablation method.

Aim of the research. To study the effect of a hydrobonded nonwoven material, containing silver nanoparticles of various sizes, on the healing of an experimental aseptic cutaneous wound and the parameters of complete and biochemical blood tests as well as to determine the possible toxicity of silver nanoparticles on the liver, kidneys and myocardium.

Material and methods. Silver nanoparticles were obtained by the laser ablation method in a liquid. The wound healing effect was evaluated on a model of an aseptic skin wound in laboratory white rats. After the healing of the wound blood was taken for complete and biochemical tests. The toxic effect of a hydrobonded bandaging material on the liver, kidneys and myocardium was assessed pathomorphologically and by changes in the biochemical blood test.

Results. The obtained data demonstrated acceleration of the healing of the experimental aseptic skin wound with the use of silver nanoparticles by 9.2-15.6 % and the absence of toxic effects of silver nanoparticles on the liver, kidneys and myocardium, as well as significant changes in the indices of complete and biochemical blood tests.

Conclusions. Hydrobonded nonwoven material with silver nanoparticles accelerates the healing of an aseptic skin wound without causing toxic effects on the liver, kidneys and myocardium. It can be used in clinical practice after further studying.

Keywords: wound coatings, experimental aseptic wound, silver nanoparticles.

Поступила: 18.06.2018

Отрецензирована: 27.06.2018