

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ХИРУРГИЯ

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАН ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ГНОЙНЫХ РАН В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

А.С. Антипина¹✉, Т.С. Твердохлебова², Г.Ц. Дамбаев¹, Е.Н. Больбасов²,
Д.В. Васильченко¹, М.М. Соловьёв¹, Н.Э. Куртсеитов¹

¹ Сибирский государственный медицинский университет,
Томск, Российская Федерация

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Томск, Российская Федерация

Аннотация

В статье представлены результаты экспериментального исследования действия композитных сегнетоэлектрических полимерных мембран на процесс заживления гнойных ран. Мембраны были получены методом электроспиннинга. В качестве исходного сырья использовались сополимер винилиденфторида с терафторэтиленом, поливинилпирролидона К17 (ПВП) и наночастицы оксида цинка (ZnO). Было изготовлено пять образцов с различным содержанием ПВП: 0, 5, 10, 20 и 40 масс %. Проводилась оценка действия мембран в зависимости от содержания ПВП. Определяли проводимость и вязкость прядильных растворов. Была изучена структура мембран. Методом сканирующей электронной микроскопии определяли диаметр волокон, формирующих мембраны. Была оценена антибактериальная активность мембран. Исследована способность мембран заживлять гнойную рану в экспериментах на лабораторных животных.

Ключевые слова: перевязочный материал, нановолоконные полимеры, заживление ран, сегнетоэлектрики, композитные мембраны

Конфликт интересов: авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

Прозрачность финансовой деятельности: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов (гранты №20-03-00171 и №20-33-90159).

Для цитирования: Антипина А.С., Твердохлебова Т.С., Дамбаев Г.Ц., Больбасов Е.Н., Васильченко Д.В., Соловьёв М.М., Куртсеитов Н.Э. Применение композитных сегнетоэлектрических полимерных мембран для лечения гнойных ран в эксперименте // Вопросы реконструктивной и пластической хирургии. 2022. Т. 25, № 2. С. 7–14. doi 10.52581/1814-1471/81/01

EXPERIMENTAL SURGERY

USAGE COMPOSITE FERROELECTRIC MEMBRANES FOR HEALING OF PURULENT WOUNDS IN THE EXPERIMENT

L.S. Antipina¹✉, T.S. Tverdokhlebova², G.Ts. Dambayev¹, E.N. Bolbasov²,
D.V. Vasilchenko¹, M.M. Soloviov¹, N.E. Kurtseitov¹

¹ Siberian State Medical University,
Tomsk, Russian Federation

² National Research Tomsk Polytechnic University,
Tomsk, Russian Federation

Abstract

The paper contains the results of an experimental study of the effect of ferroelectric composite polymer membranes on the healing process of purulent wounds. The membranes were formed by electrospinning based on vinylidene fluoride-terafluoroethylene copolymer, polyvinylpyrrolidone K17 (PVP) polymer, zinc oxide nanoparticles (ZnO). Five spinning solutions with different contents of PVP were prepared: 0, 5, 10, 20 and 40 mass %. The effect of the membranes was evaluated depending on the content of PVP. The conductivity and viscosity of the spinning solutions were determined. The structure of the formed membranes was studied. The diameter of the fibers forming the membranes was determined by scanning electron microscopy. The antibacterial activity of the membranes was evaluated. The ability of the developed membranes to heal a purulent wound was studied in experiments on laboratory animals.

Keywords: wound dressings, nanofiber polymers, wound healing, ferroelectrics, composite membranes.

Conflict of interest: the authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this paper.

Financial disclosure: the study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within framework of scientific projects (grants No. 20-03-00171 and No. 20-33-90159).

For citation: Antipina L.S., Tverdokhlebova T.S., Dambayev G.Ts., Bolbasov E.N., Vasilchenko D.V., Soloviov M.M., Kurtseitov N.E. Usage composite ferroelectric membranes for healing of purulent wounds in the experiment. *Issues of Reconstructive and Plastic Surgery*. 2022;25(2):7-14. doi 10.52581/1814-1471/81/01

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на активное развитие современной хирургии, гнойно-воспалительные заболевания мягких тканей занимают одно из ведущих мест в структуре всех общехирургических заболеваний, составляя 35–45% от общего количества. Данный тип заболеваний преобладает и в структуре амбулаторно-поликлинической помощи [1].

Безусловно, с развитием медицины в практику внедрялись новые методы лечения гнойно-воспалительных заболеваний мягких тканей, как на местном (растворы, мази, эмульсии, кремы, вакуумирование, лазеры, гидрогели, губки и т.д.), так и на общем уровне – использование антибактериальной терапии, что значительно улучшило результаты хирургического пособия. Применение антибактериальной терапии не всегда приводит к ожидаемому результату из-за высоких темпов развития резистентности микрофлоры. Для создания адекватной концентрации антибактериального агента в очаге инфекции и преодоления резистентности приходится увеличивать дозы препаратов, что негативно влияет на организм больного [2].

В последние годы были достигнуты большие успехи в разработке новых материалов для местного лечения гнойно-воспалительных заболеваний. Привычные марлевые повязки в основном защищают рану от внешних факторов, но не создают адекватную среду, позволяющую протекать процессу репарации в оптимальной среде. Жидкие и полутвердые средства, несмотря на удобство нанесения на поверхность, могут обеспе-

чить только краткосрочное действие из-за их вымывания с поверхности экссудатом и нарушения газообмена раны [3].

Основным остается лечение ран повязками ввиду простоты и удобства их использования. К повязкам предъявляется ряд требований: атравматичность, защита от неблагоприятных воздействий внешней среды, абсорбция экссудата с поверхности раны, отсутствие отрицательного воздействия на течение раневого процесса, наличие антибактериального эффекта и благоприятное воздействие на процесс регенерации тканей [4].

Нановолоконные полимерные материалы, изготовленные методом электроспиннинга, представляют интерес как многофункциональные перевязочные материалы, обеспечивающие контролируемое высвобождение антибактериального вещества в установленных терапевтических дозах, абсорбцию раневого экссудата, газообмена в ране.

Цель исследования: на экспериментальной модели изучить эффективность применения композитных сегнетоэлектрических мембран на основе сополимера винилиденфторида с терафторэтиленом, поливинилпирролидона K17 и наночастиц ZnO.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Композитные сегнетоэлектрические мембраны были сформированы методом электроспиннинга на основе сополимера винилиденфторида с терафторэтиленом (ВДФ-ТеФЭ) в

качестве основного сегнетоэлектрического фтор-полимера, поливинилпирролидона K17 (ПВП) – в качестве гидрофильного компонента, также осуществляющего транспорт антибактериального агента к очагу воспаления, с добавлением наночастиц ZnO. Смесь ацетона (C_3H_6O), изопропилового спирта (C_3H_8O) и демитилформамида (ДМФА, C_3H_7NO) использовали в качестве растворителя. Диметилформамид добавляли во избежание кластеризации наночастиц ZnO и для обеспечения равномерного его распределения по всему объему прядильного раствора и, следовательно, в нановолокнистых мембранах. Приготовление растворов осуществляли в герметичном стеклянном реакторе при температуре 40 °С и постоянном перемешивании до получения однородной прозрачной вязкой жидкости.

Для формирования нетканых материалов использовали коммерчески доступную установку NANON-01A (MECC Co., Япония), оснащенную цилиндрическим сборочным коллектором диаметром 100 мм и длиной 200 мм. Расстояние между инжектором прядильного раствора (игла 20G) и сборочным коллектором составляло 150 мм. Напряжение на инжекторе – 20 кВ. Скорость подачи прядильного раствора – 4 мл/ч. Частота вращения сборочного коллектора – 50 об/мин.

Вязкость прядильных растворов измеряли с помощью вискозиметра SV-10 (AND, Япония) по протоколу изготовителя оборудования. Проводимость прядильных растворов измеряли, используя кондуктометр InoLab Cond 7319 (WTW, Германия), оснащенный измерительной ячейкой TetraCon 325 (WTW, Германия). Измерение вязкости и проводимости прядильных растворов проводили при температуре окружающей среды 24 °С.

Исследование структуры сформированных мембран выполняли методом сканирующей электронной микроскопии (JEOL JSM-6000, Япония). Для улучшения качества изображения перед исследованием на поверхность образцов течение 2 мин наносили тонкий слой золота, используя магнетронную распылительную систему SC7640 (Quorum Technologies Ltd, Великобритания).

Диаметр волокон определяли по изображениям сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) в пяти различных полях зрения с использованием плагина DiameterJ, программного обеспечения Image J 1.38 (National Institutes of Health, США).

Смачивание поверхности материалов водой до растворения исследовали методом «сидячей капли» с использованием оптического гониометра (Easy Drop-100, Германия). Для этого на поверхность мембраны помещали каплю деионизированной воды объемом 3 мкл. Измерения

краевого угла проводили через 3 мин после контакта жидкости и мембраны.

Исследование способности композитных мембран восстанавливать кожные покровы в случае инфицированной раны проводили на 30 белых половозрелых крысах стока Вистар массой тела 200–220 г. Экспериментальные животные были разделены на 6 групп по 5 крыс в каждой группе. У всех животных была сформирована плоскостная полнослойная кожно-мышечная гнойная рана по методике, разработанной в лаборатории экспериментальной хирургии и патофизиологии ЦНИИ Московского медицинского университета им. И.М. Сеченова в модификации М.П. Толстых [1].

Эксперименты выполняли в соответствии с принципами гуманного обращения с животными, которые регламентированы «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных», Приказом МЗ СССР № 742 от 13.11.84 «Об утверждении правил проведения работ с использованием экспериментальных животных» и Приказом № 48 от 23.01.85 «О контроле за проведением работ с использованием экспериментальных животных». Исследование основано на положениях Хельсинской Декларации Всемирной Медицинской ассоциации от 1964 г., дополненной в 1975, 1983 и 2000 гг. Все оперативные вмешательства и выведение животных из опытов проводились в асептических условиях под общей анестезией.

Для формирования ран у животных в межлопаточной области удаляли лоскут кожи прямоугольной формы размерами 20 × 20 мм вместе с подкожно-жировой клетчаткой, а края ран и подлежащие мышцы раздавливали зажимом Кохера. Полученную рану инфицировали микробной взвесью, содержащей 10^6 КОЕ *Staphylococcus aureus*, затем поверхность инфицированной раны на 72 ч укрывали полиэтиленовой пленкой для формирования очага острого воспаления (рис. 1, 2).



Рис. 1. Формирование плоскостной полнослойной кожно-мышечной раны у экспериментального животного

Fig. 1. Formation of a planar full-thickness musculoskeletal wound in an experimental animal

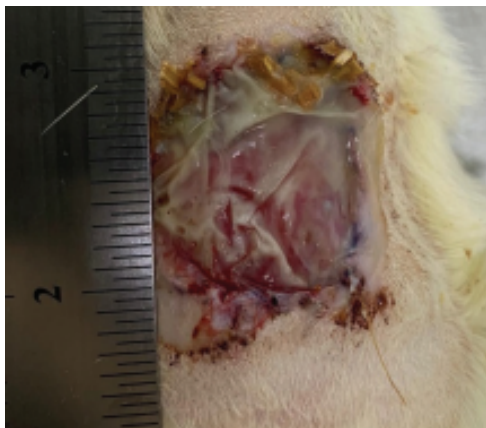


Рис. 2. Сформированная плоскостная полнослойная кожно-мышечная гнойная рана

Fig. 3. Formed planar full-thickness skin-muscle purulent wound

Животным контрольной группы на поверхность раны накладывали марлевую повязку, пропитанную водным раствором хлоргексидина. Крысам пяти основных групп поверхность раны укрывали мембраной. Смену повязок (мембран) осуществляли на 3-и, 7-е и 10-е сут эксперимента.

Животных содержали в стандартных условиях вивария, руководствуясь следующими документами, регламентирующими работу с лабораторными животными: СанПиН 1045-73 «Санитарные правила по устройству, оборудованию и содержанию экспериментально-биологических клиник (вивариев)», «Положение о контроле качества лабораторных животных, питомников экспериментально-биологических клиник (вивариев)» (2003), Правила лабораторной практики в РФ (Приказ МЗ РФ № 708 Н от 28.08.2010); Приказ № 1179 от 10.10.1983 «Об утверждении нормативов затрат кормов для лабораторных животных в учреждениях здравоохранения»; Директива 2010/63/EU Европейского Парламента и Совета Европейского союза от 22.09.2010 по охране животных, используемых в научных целях.

Оценку течения раневого процесса в эксперименте при лечении с использованием композитных сегнетоэлектрических мембран на основе сополимера винилиденфторида с терафторэтиленом и поливинилпирролидоном проводили по результатам локальных данных (определение сроков клинических проявлений фаз раневого процесса и скорости заживления за счет изменения периметра раны), определения антибактериальной активности композитной мембраны, гистологического исследования.

Антибактериальная активность исследуемых мембран оценивалась на *Staphylococcus aureus*. На образцы наносили суспензию, содержащую от $0,93 \times 10^4$ до $1,93 \times 10^4$ колониеобразующих единиц (КОЕ). Количество колониеобразующих единиц, скорость роста бактерий и антибактери-

альную активность для каждого образца оценивали в момент начала проведения эксперимента (0 ч) и после 24 ч инкубирования. В составе мембран в роли антибактериального агента выступает ZnO , его концентрация остается неизменной и, соответственно, антибактериальная активность изменяется за счет разного содержания полимера ПВП и сополимера. Антибактериальную активность определяли по формуле:

$$A = (\log C_{24} - \log C_0) - (\log T_{24} - \log T_0) = F - G,$$

где $\log C_{24}$ – логарифм количества бактерий, обнаруженных на контрольном образце через 24 ч; $\log C_0$ – логарифм количества бактерий, обнаруженных на контрольном образце на начало испытаний; $\log T_{24}$ – логарифм количества бактерий, обнаруженных на образцах с добавлением ПВП через 24 ч; $\log T_0$ – логарифм количества бактерий, обнаруженных на образцах с добавлением ПВП на начало испытаний [5].

В контрольные сроки выполняли забор тканей кожно-мышечной раны для гистологического исследования. Фрагменты мягких тканей забирали из центра гнойной раны, так как заживление шло от периферии к центру. Исследования гистологических препаратов производили методом СЭМ (Axioscop40, Carl Zeiss, Германия). Оценивали следующие показатели: отек тканей, кровоизлияния, полнокровие сосудов, воспалительная инфильтрация, регенерация.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Структура сформированных мембран с развита пористостью представлена волокнами различного диаметра (рис. 3). Была выявлена тенденция к уменьшению диаметра волокон при повышении содержания ПВП, что в свою очередь приводило к уменьшению краевого угла смачиваемости. Краевой угол смачиваемости при содержании ПВП 5 масс % составлял $(127,82 \pm 0,96)^\circ$, а при 40 масс % – $(118,92 \pm 1,81)^\circ$. Уменьшение данного показателя свидетельствует об улучшении гидрофильных свойств мембран.

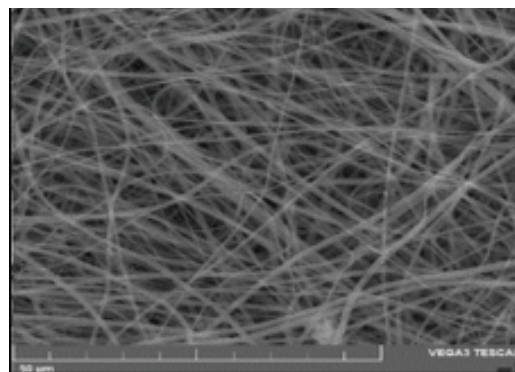


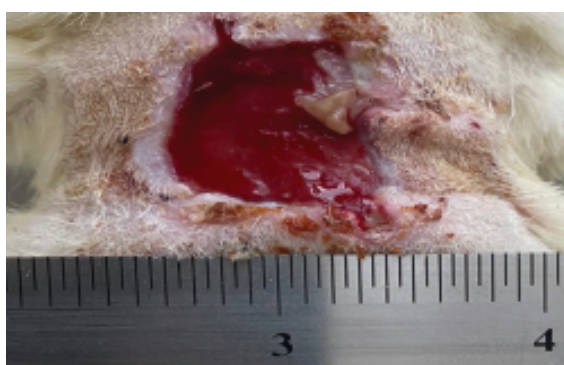
Рис. 3. Структура мембран

Fig. 3. Structure of membranes

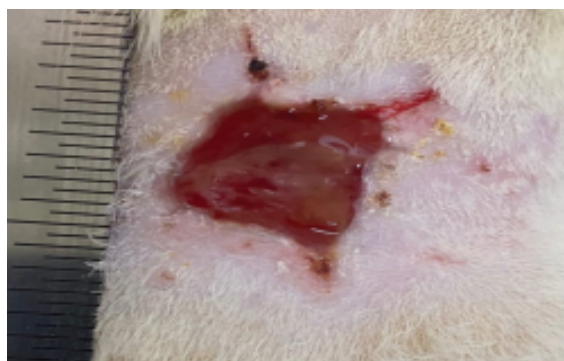
При увеличении содержания ПВП антибактериальная активность мембран повышалась, при ПВП 5 масс % она соответствовала 0,618; при ПВП 10 масс % – была равна 0,869, а при 40 масс % – 1,586 считалась значительной.

У экспериментальных животных проводили оценку течения раневого процесса при использовании композитных сегнетоэлектрических полимерных мембран с различным содержанием ПВП: 0, 5, 10, 20 и 40 масс % в сравнении с показателями контрольной группы.

Макроскопически оценивались травматизация мягких тканей при смене материалов, абсорбция экссудата и активность регенерации. Мембраны с содержанием ПВП 5 масс % показали лучшие результаты заживления раны (рис. 4).



а



б

Рис. 4. ВДФ-ТеФЭ/ПВП/ЗnО мембрана с содержанием ПВП 5 масс %. Область оперативного вмешательства, 7-е (а) и 10-е (б) сут лечения

Fig. 4. VDF-TeFE/PVP/ZnO membrane with a polyvinylpyrrolidone K17 content of 5 wt %. Surgical area, 7th (a) and 10th (b) days of treatment

На 10-е сут длина периметра раны с содержанием ПВП 5 масс % (см. рис. 4, б) составила $(23,3 \pm 2,0)$ мм, а в контроле – $(35,3 \pm 4,0)$ мм (рис. 5), с содержанием ПВП 10 масс % значение этого показателя составило (31 ± 6) мм, при использовании мембраны, содержащей 20 масс % ПВП – $(42,0 \pm 5,0)$ мм, с ПВП 40 масс % – $(46,0 \pm 4,0)$ мм (рис. 6–8). Таким образом, уменьшение длины периметра при использовании

полимерной мембраны с ПВП 5 масс % составило $(73,0 \pm 2,1)$ %, тогда как в контрольной группе – $(51,0 \pm 2,3)$ %.



Рис. 5. Марлевая повязка. Область оперативного вмешательства, 10-е сут лечения

Fig. 5. Gauze bandage. Surgical area, 10th day of treatment

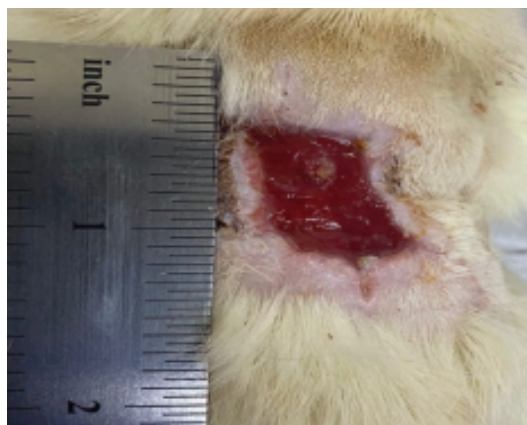


Рис. 6. ВДФ-ТеФЭ/ПВП/ЗnО мембрана с содержанием ПВП 10 масс %. Область оперативного вмешательства, 10-е сут лечения

Fig. 6. VDF-TeFE/PVP/ZnO membrane with a polyvinylpyrrolidone K17 content of 10 wt %. Surgical area, 10th (б) days of treatment



Рис. 7. ВДФ-ТеФЭ/ПВП/ЗnО мембрана с содержанием ПВП 20 масс %. Область оперативного вмешательства, 10-е сут лечения

Fig. 7. VDF-TeFE/PVP/ZnO membrane with a polyvinylpyrrolidone K17 content of 20 wt %. Surgical area, 10th (б) days of treatment

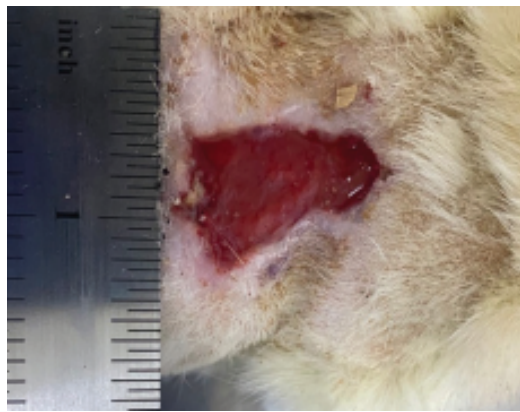


Рис. 8. ВДФ-ТеФЭ/ПВП/ZnO мембрана с содержанием ПВП 40 масс %. Область оперативного вмешательства, 10-е сут лечения

Fig. 8. VDF-TeFE/PVP/ZnO membrane with a polyvinylpyrrolidone K17 content of 40 wt %. Surgical area, 10th (6) days of treatment

При оценке сроков заживления с ПВП 5 масс % было обнаружено, что очищение раны от гнойно-некротических тканей происходило на $(8,67 \pm 0,58)$ сут, появление грануляций и начало эпителизации – на $(7,33 \pm 0,58)$ сут. Сроки полного заживления составили $(23,33 \pm 0,58)$ сут.

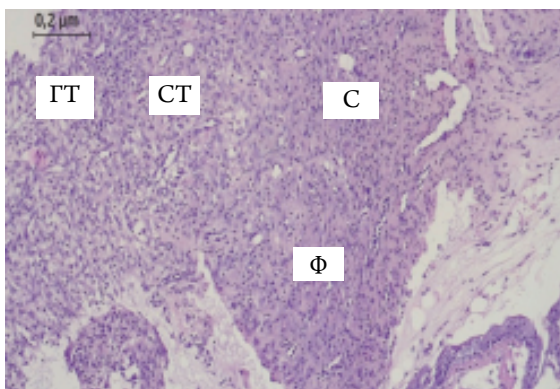


Рис. 9. Экспериментальное исследование, 10-е сут, группа ПВП 5 масс %: Ф – фибрин, С – сосуды, СТ – соединительная ткань, ГТ – грануляционная ткань. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. $\times 100$.

Fig. 9. Experimental study, 10th day, a polyvinylpyrrolidone K17 group 5 wt %: Ф – fibrin, С – vessels, СТ – connective tissue, ГТ – granulation tissue. Stained with hematoxylin and eosin. Magn. $\times 100$

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Старичков И.Г. Лечение экспериментальных гнойных ран микроволокнистыми раневыми покрытиями: автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2011. 21 с.
2. Винник Ю.С., Маркелова Н.М., Тюрюмин В.С. Современные методы лечения гнойных ран // Сибирское медицинское обозрение. 2013. № 1. С. 18–24.
3. Wang J., Windbergs M. Functional electrospun fibers for the treatment of human skin wounds // European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics. 2017. Vol. 199. P. 283–299. doi: 10.1016/j.ejpb.2017.07.001
4. Andrian D., Bombin J., Dunne N.J., McCarthy H.O. Electrospinning of natural polymers for the production of nanofibers for wound healing applications // Materials Science & Engineering C. 2020. Vol. 114. P. 110994. doi: 10.1016/j.msec.2020.110994
5. Hoefler D., Hammer T.R. Antimicrobial Active Clothes Display No Adverse Effects on the Ecological Balance of the Healthy Human Skin Microflora // ISRN Dermatol. 2011. Vol. 2011/ – P. 1–8. doi:10.5402/2011/369603

При микроскопической картине в основных группах, в которых использовались мембраны с содержанием ПВП, равным 5 масс %, наблюдался более активный процесс регенерации, чем в других группах. Отмечалось активное формирование молодой соединительной ткани и фиброзной ткани с большим количеством фибробластов с переходом в васкуляризованную грануляционную ткань. Определялся небольшой фрагмент фиброзной клеточной ткани, по периферии которого отмечается небольшая инфильтрация нейтрофилами. В фиброзной ткани в большом количестве регистрировались капилляры и фибробластоподобные клетки (рис. 9).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мембраны на основе сополимера ВДФ-ТеФ, ПВП с добавлением наночастиц ZnO получены методом электроспиннинга. Установлено, что, вне зависимости от содержания ПВП, все фторполимерные мембраны сформированы переплетающимися волокнами. При повышении содержания ПВП в мембране имела место тенденция к уменьшению диаметра волокон и повышению гидрофильности за счет снижения вязкости и проводимости прядильных растворов. Выполнено сравнение в эксперименте композитных полимерных мембран с различным содержанием ПВП, полученных методом электроспиннинга, в качестве повязки и марлевой повязки. Показано, что при постоянной концентрации наночастиц ZnO и увеличении содержания ПВП повышается антибактериальная активность. Проведенные исследования по восстановлению кожных покровов на половозрелых лабораторных крысах показывают, что по сравнению со стандартными марлевыми повязками, композиты с содержанием ПВП 5 масс % демонстрируют лучший эффект заживления кожных покровов за счет гидрофильных свойств и стимуляции процесса регенерации. Полученные в эксперименте данные позволили сделать вывод о возможности использования предложенных композитных сегнетоэлектрических полимерных мембран для лечения гнойных ран.

REFERENCES

1. Starichkov I.G. *Lecheniye eksperimental'nyh gnoynyh ran mikrovoloknistymi ranevymi pokrytiyami: avtoref. dis. kand. med. nauk* [Treatment of experimental purulent wounds with microfiber wound dressings: Author. ... Diss. Cand. Med. sci.]. Moscow, 2011. 21 p. (In Russ.).
2. Vinnik Yu.S., Markelova N.M., Tyuryumin V.S. Sovremennyye metody lecheniya gnoynyh ran [Modern methods of septic wounds treatment]. *Sibirskoye medicinskoye obozreniye – Siberian Medical Review*. 2013;1:18-24 (In Russ.).
3. Wang J., Windbergs M. Functional electrospun fibers for the treatment of human skin wounds. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 2017;199:283-299. doi: 10.1016/j.ejpb.2017.07.001
4. Andrian D., Bombin J., Dunne N.J., McCarthy H.O. *Electrospinning of natural polymers for the production of nanofibers for wound healing applications*. Materials Science & Engineering C. 2020;114:110994, doi: 10.1016/j.msec.2020.110994
5. Hoefer D., Hammer T.R. Antimicrobial Active Clothes Display No Adverse Effects on the Ecological Balance of the Healthy Human Skin Microflora. *ISRN Dermatol*. 2011;2011:1–8. doi:10.5402/2011/369603

Сведения об авторах

Антипина Людмила Сергеевна [✉] – аспирант кафедры госпитальной хирургии с курсом сердечно-сосудистой хирургии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России (Россия, 634050, г. Томск, ул. Московский тракт, д. 2).

<https://orcid.org/0000-0001-5344-4471>

e-mail: ant_sv@mail.ru

Тел.: 8-923-417-5076

Твердохлебова Тамара Сергеевна – инженер-исследователь лаборатории плазменных гибридных систем научного образовательного центра Б.П. Вейнберга ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30).

<https://orcid.org/0000-0003-2071-7781>

Дамбаев Георгий Цыренович – заслуженный деятель науки РФ, д-р мед. наук, профессор, член-корреспондент РАН, зав. кафедрой госпитальной хирургии с курсом сердечно-сосудистой хирургии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России (Россия, 634050, г. Томск, ул. Московский тракт, д. 2).

<https://orcid.org/0000-0002-7741-4987>

e-mail: dambaev@vtomske.ru

Большасов Евгений Николаевич – канд. техн. наук, научн. сотрудник лаборатории плазменных гибридных систем научного образовательного центра Б.П. Вейнберга ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30).

<https://orcid.org/0000-0002-9789-2185>

Васильченко Дмитрий Владимирович – канд. мед. наук, ассистент кафедры патологической анатомии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России (Россия, 634050, г. Томск, ул. Московский тракт, д. 2).

<https://orcid.org/0000-0002-9780-0770>

Соловьёв Михаил Михайлович – д-р мед. наук, профессор кафедры госпитальной хирургии с курсом сердечно-сосудистой хирургии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России (Россия, 634050, г. Томск, ул. Московский тракт, д. 2).

<https://orcid.org/0000-0002-9497-1013>

e-mail: sol.tomsk@gmail.com

Куртсеитов Нариман Энверович – д-р мед. наук, профессор кафедры госпитальной хирургии с курсом сердечно-сосудистой хирургии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России (Россия, 634050, г. Томск, ул. Московский тракт, д. 2).

<https://orcid.org/0000-0003-1540-7949>

e-mail: nariman.tomsk@gmail.com

Information about the authors

Lyudmila S. Antipina [✉], postgraduate student, the Department of Hospital Surgery with a Course of Cardiovascular Surgery, Siberian State Medical University (2, Moskovskiy tract st., 634050, Tomsk, Russia).

<https://orcid.org/0000-0001-5344-4471>

e-mail: ant_sv@mail.ru

Phone number: +7-923-417-5076

Tamara S. Tverdokhlebova, Research Engineer, the Laboratory of Plasma Hybrid Systems, the Scientific Educational Center of B.P. Weinberg, National Research Tomsk Polytechnic University (30, Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia).

<https://orcid.org/0000-0003-2071-7781>

Georgiy Ts. Dambayev, Honored Worker of Science of Russia, Dr. Med. sci., Professor, Corresponding member of RAS, head of the Department of Hospital Surgery with a Course of Cardiovascular Surgery, Siberian State Medical University (2, Moskovskiy tract st., 634050, Tomsk, Russia).

<https://orcid.org/0000-0002-7741-4987>

e-mail: dambaev@vtomske.ru

Evgeniy N. Bolbasov, Cand. Techn. sci., Researcher, the Laboratory of Plasma Hybrid Systems, the Scientific Educational Center of B.P. Weinberg, National Research Tomsk Polytechnic University (30, Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia).

<https://orcid.org/0000-0002-9789-2185>

Dmitriy V. Vasilchenko, Cand. Med. sci., Assistant, the Department of Pathological Anatomy, Siberian State Medical University (2, Moskovskiy tract st., 634050, Tomsk, Russia).

<https://orcid.org/0000-0002-9780-0770>

Mikhail M. Soloviev, Dr. Med. sci., Professor, the Department of Hospital Surgery with a Course of Cardiovascular Surgery, Siberian State Medical University (2, Moskovskiy tract st., 634050, Tomsk, Russia).

<https://orcid.org/0000-0002-9497-1013>

e-mail: sol.tomsk@qmail.com

Nariman E. Kurtseitov, Dr. Med. sci., Professor, the Department of Hospital Surgery with a Course of Cardiovascular Surgery, Siberian State Medical University (2, Moskovskiy tract st., 634050, Tomsk, Russia).

<https://orcid.org/0000-0003-1540-7949>

e-mail: nariman.tomsk@gmail.com

Поступила в редакцию 18.12.2021; одобрена после рецензирования 28.01.2022; принята к публикации 25.02.2022

The paper was submitted 18.12.2021; approved after reviewing 28.01.2022; accepted for publication 25.02.2022