

Анализ структуры гемостатических пленок, полученных методом электроформования

М.А. ДЕМИДОВА, Д.Б. РЫКЛИН

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

Метод электроформования, позволяющий получать нановолокнистые материалы и покрытия разной структуры с заданным комплексом свойств, является одним из наиболее перспективных направлений разработки инновационных биомедицинских материалов. В настоящее время благодаря разнообразию свойств нановолокнистых материалов, покрытий и конструкций, они стали альтернативными терапевтическими средствами для многих сфер биомедицины [1]. Особый интерес исследователей вызывают электроформованные материалы из натуральных и синтетических полимеров с заданной скоростью биодеградации, материалов, не вызывающие иммунного ответа у организма пациента, нановолокнистых покрытий и систем с механизмом таргетной доставки с включенным лекарственным компонентом [2] и многие другие инновационные терапевтические средства.

В связи с этим целью работы является анализ структуры гемостатических пленок, получаемых методом электроформования.

В качестве волокнообразующего полимера при проведении исследований использовался поливиниловый спирт (ПВС) марки Arkofil PPL (Arhroma, Швейцария), поскольку он отличается нетоксичностью, быстрой биодеградацией, легким выведением из организма пациента и не оказывает влияния на протекание процесса терапии. В качестве таргет-добавок, за счет которых осуществляется реализация гемостатического эффекта были выбраны хлорид железа $AlCl_3$ и хлорид алюминия $FeCl_3$. Стандартное применение солей алюминия в медицине подразумевает оказание антацидного эффекта при пероральном приеме [3]. Препараты железа, как в парентеральной, так и пероральной форме ассоциируются в первую очередь с лечением железодефицитной анемии [4], а также способны вызывать денатурацию белков крови с переходом в твердое состояние, что позволяет реализоваться их гемостатическому эффекту [4].

Для проведения исследований при приготовлении волокнообразующих растворов, содержащих 14 % ПВС, 1,7 % хлорида алюминия и 0,8 % хлорида железа, осуществлялось двумя способами. При приготовлении прядильного раствора первым способом вначале осуществлялось растворение гранул ПВС на водяной бане с образованием однородного раствора, после чего он охлаждался до комнатной температуры. В полученный раствор добавлялись порошки хлорида железа $AlCl_3$ и хлорида алюминия $FeCl_3$, размешивались до полного растворения солей. Получение второго раствора происходило следующим образом: на водяной бане осуществлялось приготовление водного раствора ПВС до полного растворения гранул полимера, одновременно с этим в части дистиллированной воды растворялись порошки хлорида железа $AlCl_3$ и хлорида алюминия $FeCl_3$ при комнатной температуре.

Получение гемостатической пленки из исследуемых растворов полимеров осуществлялось на установке для электроформования нановолокнистых материалов Fluidnatek LE-50. Процесс электроформования протекал стабильно. Исследование структуры получаемых нановолокнистых материалов осуществлялось с использованием электронного сканирующего микроскопа LEO 1420 (Carl Zeiss, Германия).

На рис. 1 представлены изображения структуры нановолокнистого материала при увеличении в 15000 раз, выработанного из растворов ПВС Arkofil PPL с добавлением таргет-компонента, полученных первым и вторым способом приготовления.

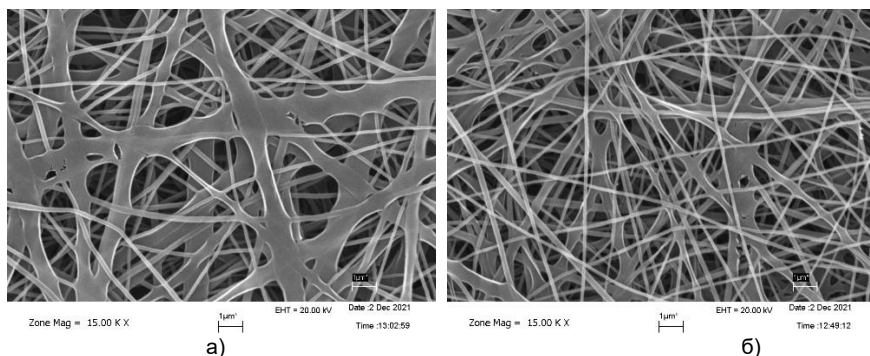


Рис. 1. Изображения структуры гемостатической плёнки, выработанной из прядильного раствора, полученного первым (а) и вторым (б) способом

Анализ полученных изображений показал, что при получении волокнообразующего раствора первым способом структура нановолокнистого покрытия отличается большей неравномерностью, волокна слипаются между собой, образуя кластеры. При этом средний диаметр волокна при первом способе приготовления раствора составил 174,77 нм, с коэффициентом вариации по диаметру волокна 47,3 %. При втором способе приготовления средний диаметр волокна снизился до 131,64 нм, коэффициент вариации по диаметру волокна составил 36,0 %.

Количественная оценка равномерности нановолокнистого покрытия осуществлялась на основании анализа законов распределения нановолокон по диаметру (рис. 2).

Ранее при исследованиях была выдвинута гипотеза о том, что поскольку в процессе формирования нановолокон расщепление струи прядильного раствора осуществляется не за счет взаимодействия отдельных струй, а вследствие воздействия на них электрического поля, можно считать процесс расщепления струи стационарным при условии постоянства скорости расщепления струй на всем пути от эмиттера до коллектора. Следовательно, если рассматривать процесс расщепления струи прядильного раствора по аналогии с процессом дробления частиц, то стабильным этот процесс можно считать в случае доказанного соответствия распределения диаметров нановолокон логнормальному закону [5].

Было установлено, что в обоих случаях распределение волокон по диаметру соответствует логнормальному закону. Это позволяет заключить, что процесс расщепления струи на всем пути от эмиттера до коллектора является стационарным, что может свидетельствовать о стабильности процесса электроформования гемостатических нановолокнистых плёнок [5].

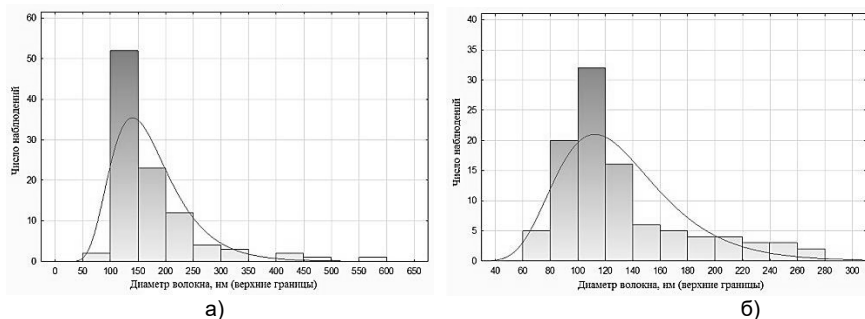


Рис. 2. Распределение по диаметру нановолокон гемостатической плёнки, выработанной из прядильного раствора, полученного первым (а) и вторым (б) способом

Выявленная при приготовлении волокнообразующего раствора первым способом неравномерность структуры нановолокон плёнки при сохранении их качественных характеристик позволяет заключить, что способ приготовления раствора оказывает существенное влияние на структуру и морфологию нановолокнистой плёнки. Таким образом, изменяя способ приготовления прядильного раствора из полимера с добавлением таргет-компонента возможно управлять структурой и морфологией получаемого нановолокнистого материала, что позволит достигать желаемого терапевтического эффекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Juncos, V.A.D., Dunne, N.J., McCarthy, H.O. Electrospinning of natural polymers for the production of nanofibres for wound healing applications // *Materials Science and Engineering: C*. – 2020. – V. – Art. 110994.
2. Rahmati, M., Mills, D.K., Urbanska, A.M., Saeb, M.R., Venugopal, J.R., Ramakrishna, S., Mozafari M. Electrospinning for tissue engineering applications // *Progress in Materials Science*. – 2020. – Art. 100721.
3. Дворецкий, Л. И. Сульфат железа в лечении железодефицитной анемии: позиции сохраняются / Л. И. Дворецкий // *Терапевтический архив*. – 2017. - №10. – С. 108-112.
4. Демидова, М.А. Получение гемостатических пленок методом электроформования / М.А. Демидова, В.А. Новицкая, Д.Б. Рыклин, С.В. Гвоздев // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы: XXII Международный научно-практический форум "SMARTEX-2021"*, Иваново: ИВГПУ, – 2021. – С. 181-186.
5. Рыклин, Д.Б. Обоснование закона распределения нановолокон по диаметру в материалах, полученных методом электроформования / Д.Б. Рыклин, М.А. Демидова, В.М. Азарченко, К.В. Скоцкая // *Технология текстильной промышленности. Известия вузов*. – 2021. - № 4. – С. 121 – 128.