



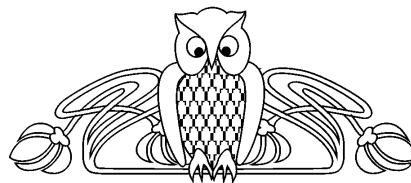
УДК 617.7-007.681

ПЛАЗМЕННОЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН ДЛЯ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ РЕФРАКТЕРНОЙ ГЛАУКОМЫ

Т. В. Рязанцева, Л. И. Кравец*

Саратовский государственный медицинский университет
им. В.И. Разумовского
E-mail: tvroko@gmail.com

* Объединенный институт ядерных исследований,
Лаборатория ядерных реакций им. Г. Н. Флерова, Дубна
E-mail: kravets@lnr.jinr.ru



В работе сообщается о результатах формирования и применения полимерных трековых мембран из полиэтилентерефталата с наноструктурированной поверхностью в качестве эксплантодренажа при хирургическом лечении рефрактерной глаукомы. Для наноструктурирования поверхностного слоя мембран применена обработка в кислородсодержащей плазме.

Ключевые слова: полимерные трековые мембраны, обработка в плазме, наноструктурированная поверхность, рефрактерная глаукома.

Plasma Nanostructuring of Polymer Track Membranes Surface for Antiglaucomatous Surgery

T. V. Ryazantseva, L. I. Kravets

Experimental results of fabrication and implantation of nanostructured track membranes as a drainage for refractory glaucoma surgery are presented. For nanostructuring of the membrane surface, a treatment by air plasma was applied.

Key words: polymer track membranes, plasma treatment, nanostructured surface, refractory glaucoma.

Введение

Одной из актуальных проблем в офтальмологии остается хирургическое лечение рефрактерной глаукомы. Рефрактерная глаукома включает в себя как первичную оперированную глаукому, требующую проведения повторных хирургических вмешательств, так и врожденную, ювенильную и некоторые виды вторичной глаукомы. Неудачные попытки антиглаукоматозных операций, как правило, являются результатом пролиферации соединительной ткани и блокирования хирургически сформированных путей оттока внутриглазной жидкости. Вследствие резистентности рефрактерной глаукомы к традиционному лечению длительная сохранность

гипотензивного эффекта обеспечивается имплантацией различных дренажей.

В данной работе сообщается о результатах исследований по формированию в плазме электрического разряда и использованию полиэтилентерефталатных трековых мембран (ПЭТФ ТМ) с наноструктурированной поверхностью в качестве дренажного материала при антиглаукоматозных операциях. Рассмотрены особенности наноструктурирования поверхности мембран в плазме неполимеризующихся газов.

Предварительные испытания показали, что мембраны данного типа не подвергаются биодеструкции и могут находиться в интрасклеральной полости длительное время. Для наноструктурирования поверхности мембран применена обработка в плазме неполимеризующихся газов.

1. Методика эксперимента

В экспериментах использовали трековые мембраны с эффективным диаметром пор 0.2 мкм (плотность пор $2 \times 10^8 \text{ см}^{-2}$) и 0.4 мкм (плотность пор $5 \times 10^7 \text{ см}^{-2}$), которые получали облучением ПЭТФ-пленок толщиной 10.0 мкм (Лавсан, Россия) ускоренными на циклотроне У-300 ионами криптона с энергией $\sim 1 \text{ МэВ/нуклон}$ с последующей физико-химической обработкой по стандартной методике [1]. Поры данных мембран представляют собой цилиндрические каналы, поперечное сечение которых не изменяется по глубине.



Обработку мембран в плазме проводили на плазмохимической установке с использованием ВЧ-разряда переменного тока с частотой 13.56 МГц. Образцы мембран размерами 10×10 см, закрепленные на плоском держателе, размещали в вакуумной камере установки в зоне действия плазмы. Воздействию плазмы подвергали обе стороны мембран. В качестве плазмообразующего газа применяли азот, воздух и смесь азота с кислородом в различном соотношении. Параметры разряда (давление газа в вакуумной камере, мощность разряда) и длительность воздействия плазмы варьировали. Методика обработки и схема плазмохимической установки подробно описаны в работе [2].

Характеристики исходных мембран и мембран, модифицированных в плазме, определяли при помощи ряда взаимодополняющих методик. Изменение толщины мембран регистрировали с помощью электронного измерителя толщины 'Tesa Unit' (Австрия), точность измерений составляла ± 0.1 мкм. Газопроницаемость мембран (поток воздуха, прошедший через мембрану) измеряли при заданном перепаде давления с помощью поплавкового расходомера. На основании полученных значений, используя формулу Хагена–Пуазейля [3], рассчитывали эффективный диаметр пор (погрешность 3%). Исследование микроструктуры образцов, а также определение диаметра пор на поверхности мембран проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа 'JSM-840' (JEOL) с разрешением 10 нм. Перед просмотром на образцы напыляли в вакууме тонкий слой золота. Топографию поверхности мембран изучали с помощью атомно-силового микроскопа AFM, Q-Scope™ Nomad™. Форму пор мембран исследовали методом металлических реплик [4], в качестве материала реплик использовали медь. Изменения в поверхностном слое мембран изучали с помощью метода многократного нарушенного полного внутреннего отражения (МНПВО) ИК-спектроскопии. В качестве элемента МНПВО использовали призмы из Ge и стекла KRS-5 с углами 45 и 55° и чис-

лом отражений соответственно 24 и 14. Использовали спектрофотометр 'Specord M-80' (Carl Zeiss Jena). Отнесение полос поглощения проводили согласно [5]. Измерение краевого угла смачивания определяли методом сидящей капли с помощью горизонтального микроскопа, снабженного гониометром, по методике [3]. Для измерений использовали воду (бидистиллят), точность измерений составляла $\pm 1^\circ$. Водопроницаемость измеряли при заданном перепаде давления с помощью стандартной фильтрационной установки ФМО-2 (Россия) на образцах мембран площадью 254 мм². Использовали предварительно очищенную фильтрацией через ПЭТФ ТМ с диаметром пор 50 нм дистиллированную воду. До начала фильтрации мембраны выдерживали в водном растворе в течение 20 мин. Заряд поверхности пор мембран определяли методом потенциала течения [3] при фильтрации 10⁻³ М раствора хлорида калия под действием созданного на мембране перепада давления.

В эксперименте на животных проводилось определение токсического действия эксплантодренажа на окружающие ткани. Наличие белков во влаге передней камеры моделирует реакцию тканей в организме, а прозрачность тканей позволяет оценивать контакт белков с поверхностью имплантата. Интрасклеральная имплантация позволяет оценить степень воспалительной реакции и биодеградации имплантата.

Через роговичный разрез на «12 часах» дренаж, размером 1×2 мм, имплантировали в переднюю камеру 10 глаз кроликов породы шиншилла и в интрасклеральный карман, сформированный в 3 мм от лимба, с последующим наложением швов на края раны. Сроки наблюдения за животными составили от 1 до 30 дней. Воспалительную реакцию глаза оценивали по шкале Л.С. Чабровой:

0-я степень – ареактивное течение. Конъюнктивальная инъекция отсутствует, роговица, влага передней камеры прозрачны, хорошо выражен рисунок радужки, имплантат интактен;

1-я степень – слабо выраженная реакция. Отек роговицы в зоне вмешательства,



симптом Тиндаля во влаге передней камеры, наличие фибрина или преципитатов на имплантате, отек и гиперемия зрачкового края радужки;

2-я степень – реакция средней степени. Характерен отек половины роговицы, единичные складки десцеметовой оболочки, фибрин в передней камере глаза, экссудат на поверхности имплантата, расширение сосудов радужки;

3-я степень – резко выраженная реакция. Отек роговицы, утолщение стромы, выраженный десцеметит, экссудат (гипопион), гифема, рубез радужки, выраженная экссудация на имплантате с формированием синехий.

Исследование цитотоксичности дренажей проводили на клеточной культуре фибробластов мышей линии 3ТЗ клона SC-1. В качестве экстрагирующих сред использовали стерильные раствор натрия хлорида и среду Игла с добавлением эмбриональной телячьей сыворотки. Клетки фибробластов высевали в чашки Петри в концентрации 40 тыс./мл, инкубировали в течение суток при температуре 37°C. Затем каждый экстракт вносили на монослой фибробластов. Спустя 24 часа оценивали лизис клеток, их морфологию и количество.

Проводилось морфологическое исследование тканей глаз, полученных в эксперименте на 30 кроликах породы шиншилла. Вторичную глаукому моделировали введением 1%-ного раствора Януса зеленого в переднюю камеру глаза. Глаукома развивалась в течение одного месяца. Средний уровень внутриглазного давления до операции составлял 35 ± 3 мм рт. ст. Антиглаукоматозное вмешательство выполняли с имплантацией дренажа у 30 кроликов породы шиншилла (30 глаз). При последующем гистологическом исследовании серийные срезы глаз окрашивали гематоксилин-эозином и по Ван-Гизон.

2. Результаты и их обсуждение

2.1. Влияние плазмы неполимеризующихся газов на структуру трековых мембран

Проведенные исследования воздействия плазмы воздуха на полиэтилентерефталатные

трековые мембраны обоих типов позволили установить следующий ряд закономерностей. Во-первых, при обработке ПЭТФ ТМ в плазме ВЧ-разряда в воздухе происходит травление как внешней поверхности мембран, так и поверхности пор, сопровождающееся уменьшением толщины мембран и увеличением их эффективного диаметра пор (табл. 1). Результат газоразрядного травления пор трековых мембран иллюстрирует рис. 1, на котором представлены микрофотографии поверхностей исходной и обработанной в плазме воздуха мембран. Видно, что диаметр пор на поверхности модифицированной мембраны выше в сравнении с контрольным образцом. Как показывают проведенные эксперименты, скорость травления зависит от величины параметров разряда (давления плазмообразующего газа и мощности разряда) – при увеличении параметров разряда скорость травления возрастает (см. табл. 1). На величину скорости травления также влияет изменение состава плазмообразующего газа. Так, замена воздуха на азот снижает скорость травления – эффективный диаметр пор мембран, полученных травлением в плазме азота, как правило, меньше диаметра пор аналогичных мембран, образуемых в плазме воздуха. Варьирование соотношения азота и кислорода в составе плазмообразующего газа показывает, что при повышении концентрации кислорода происходит увеличение скорости травления (табл. 2). Введение кислорода в состав газа, таким образом, повышает активность плазмы. Использование же в качестве плазмообразующего газа чистого кислорода позволяет значительно повысить скорость травления, что дает возможность интенсифицировать процесс газоразрядного травления.

Во-вторых, результаты исследований показывают: воздействие плазмы неполимеризующихся газов на трековые мембраны приводит к образованию асимметричных мембран – форма пор мембран, образуемых в процессе газоразрядного травления, изменяется [2, 6]. При этом в зависимости от выбранных параметров разряда травление можно производить либо в части канала, либо по



Таблица 1

Изменение характеристик мембран в процессе обработки в плазме воздуха

Давление газа, Па	Мощность разряда, Вт	Толщина, мкм	Краевой угол смачивания, °	Эффективный диаметр пор, мкм		Водопроницаемость при $\Delta P = 4 \times 10^4$ Па, мл/мин см^2	
				Мембрана I	Мембрана II	Мембрана I	Мембрана II
–	–	10.0	65	0.220	0.395	2.2	5.4
0.15	70	9.9	20	0.230	0.405	2.7	6.7
0.25	70	9.8	25	0.235	0.425	3.1	7.6
4.0	70	9.4	30	0.245	0.445	3.6	8.4
10.5	70	9.0	35	0.255	0.460	4.1	9.1

Примечание. Длительность воздействия 10 мин. Мембрана I имеет диаметр пор 0.2 мкм, мембрана II – диаметр пор 0.4 мкм.

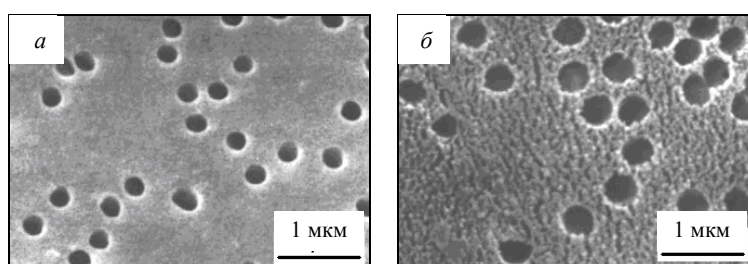


Рис. 1. Электронные микрофотографии поверхностей исходной ПЭТФ ТМ с эффективным диаметром пор 0.2 мкм (а) и обработанной в плазме воздуха мембраны (б). Параметры разряда: давление газа в вакуумной камере 0.25 Па, мощность разряда 100 Вт, длительность воздействия 10 мин

Таблица 2

Изменение характеристик мембраны с диаметром пор 0.4 мкм в процессе обработки в плазме различного состава

Состав плазмообразующего газа	Газопроницаемость при $\Delta P = 5 \times 10^3$ Па, мл/мин см^2	Эффективный диаметр пор, мкм	Пористость, %	Водопроницаемость при $\Delta P = 4 \times 10^4$ Па, мл/мин см^2
–	215	0.395	6.1	5.4
N_2	300	0.435	7.4	8.4
$\text{N}_2 + \text{O}_2$ (3:1)	350	0.455	8.1	8.9
$\text{N}_2 + \text{O}_2$ (1:1)	365	0.460	8.3	9.1
$\text{N}_2 + \text{O}_2$ (1:3)	375	0.465	8.5	10.0
O_2	630	0.540	11.4	17.9

Примечание. Параметры разряда: давление газа 22.5 Па, мощность разряда 400 Вт, длительность воздействия 5 мин.

всей длине каналов пор. В обоих случаях образуются асимметричные трековые мембраны. Данный результат иллюстрирует рис. 2, на котором представлена схема структуры исходной ТМ (рис. 2, а) и модифицированных в плазме воздуха мембран (рис. 2, б–г).

Изменение формы пор мембран при воздействии плазмы подтверждается исследованием металлических реплик пор, полученных электрохимическим осаждением меди в порах мембран (рис. 3).

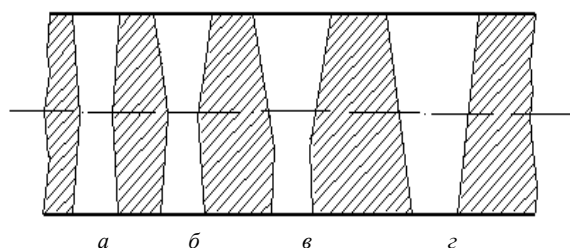


Рис. 2. Схема структуры пор исходной ПЭТФ ТМ (а) и мембран, модифицированных в плазме воздуха (б–г)

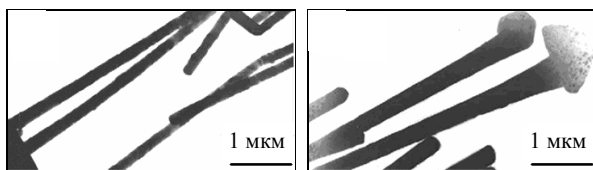


Рис. 3. Электронные микрофотографии металлических реплик с пор исходной ПЭТФ ТМ с эффективным диаметром пор 0.2 мкм (а) и обработанной в плазме воздуха мембраны (б). Параметры разряда: давление газа в вакуумной камере 46.5 Па, мощность разряда 300 Вт, длительность воздействия 10 мин

Видно, что после обработки ПЭТФ ТМ в плазме воздуха форма пор мембраны изменяется – поры приобретают асимметричную (в данном случае коническую) форму. На изменение формы пор указывает также сравнительный анализ диаметров пор на поверхности исходного образца и среднего диаметра пор модифицированных в плазме мембран. Наибольший интерес представляют мембраны, у которых травлению подверглась только часть каналов пор (см. рис. 2, б, в). В результате газоразрядного травления в слое таких мембран формируются конусообразные углубления, увеличивающие объемную пористость (см. табл. 2), что отражается на поведении мембран в процессе фильтрации. Как показывают экспериментальные данные, производительность по воде асимметричных мембран выше в сравнении с исходной мембраной (см. табл. 2). Незатронутый в процессе травления слой, структура которого остается без изменения, определяет селективные свойства мембран. Незначительные изменения в данном слое при обработке в плазме не вызывают заметного снижения селективности разделения. Варьирование параметров разряда и длительности воздействия плазмы приводит к изменению как размера конусообразной части пор, так и толщины незатронутого в процессе травления слоя. Это дает возможность получать большой ассортимент асимметричных трековых мембран с различными характеристиками.

2.2. Влияние плазмы неполимеризующихся газов на поверхность трековых мембран

При воздействии плазмы неполимеризующихся газов на полиэтилентерефталатные трековые мембраны происходит измене-

ние свойств ее поверхностного слоя. Это подтверждается данными ИК-спектроскопии обработанных в плазме образцов мембран (табл. 3). При анализе МНПВО ИК-спектров обработанных в плазме воздуха образцов мембран, записанных с использованием призмы из германия, глубина проникновения ИК-излучения в образце которой составляет 0.69 мкм, было обнаружено увеличение интенсивности полосы поглощения 1720 см^{-1} , связанной с валентными колебаниями карбонила (C=O) карбоксильных групп. При варьировании параметров плазменного разряда наблюдается изменение концентрации поверхностных групп: повышение мощности разряда и давления плазмообразующего газа вызывает образование большего числа функциональных групп. Обработка в плазме воздуха, таким образом, приводит к повышению содержания в поверхностном слое мембран карбоксильных групп, образование которых может быть объяснено следующим. При воздействии активных частиц плазмы происходит деструкция полимерных цепей на поверхности, причем преимущественно в аморфной фазе, обладающей меньшей плотностью и потому более подверженной окислению [7].

Увеличение содержания карбоксильных групп в поверхностном слое мембран приводит к повышению отрицательного заряда пор.

Таблица 3

Результаты ИК-спектрофотометрического исследования модифицированных в плазме воздуха ПЭТФ ТМ с диаметром пор 0.2 мкм

Режим обработки		Увеличение концентрации COOH-групп, %	Соотношение интенсивностей полос			Изменения в структуре поверхности мембран
Давление воздуха, Па	Мощность разряда, Вт		I_{1473} / I_{1455}	I_{1343} / I_{1370}	I_{973} / I_{1043}	
–	–	–	4.0	5.15	2.10	–
0.15	70	4	3.85	4.95	2.00	Аморфизация
0.25	70	7	3.75	4.75	1.95	То же
4.0	70	19	3.55	4.5	1.80	»
10.5	70	28	4.35	5.65	2.45	Кристаллизация

Примечание. Длительность воздействия плазмы 10 мин.



Действительно, измерение поверхностного заряда пор мембран методом потенциала течения, обработанных в плазме воздуха, показывает, что на их поверхности в водных растворах образуется больший отрицательный заряд в сравнении с исходной мембраной. Для примера укажем следующее. Если величина заряда поверхности пор исходной полиэтилентерефталатной трековой мембраны с диаметром пор 0.4 мкм составляет 1.17×10^{-2} Кл/м², то для модифицированной в плазме воздуха (при давлении газа в вакуумной камере 13.5 Па и мощности разряда 300 Вт) мембраны эта величина составляет 1.62×10^{-2} Кл/м².

Для характеристики структурных изменений, возникающих в мембранах при их обработке в плазме, были рассчитаны соотношения интенсивностей полос поглощения 1473 и 1455, 1343 и 1370, 973 и 1043 см⁻¹. Полосы поглощения при 1473 и 1343 см⁻¹ характеризуют деформационные колебания СН₂-групп в транс-конформации, а 1455 и 1370 см⁻¹ – деформационные колебания в гош-конформации. Полосы поглощения 973 и 1043 см⁻¹ относят к колебаниям всей цепи кристаллической и аморфной фазы соответственно. Проведенные измерения показывают (см. табл. 3), что в результате обработки в плазме воздуха при малых значениях параметров разряда происходит аморфизация вследствие деструкции полимерных цепей. При увеличении давления в газовой фазе и мощности разряда наблюдается ориентация на поверхности полимера. При сравнении ИК-спектров модифицированных мембран и исходной, записанных обычным способом и с использованием призмы KRS-5 (глубина проникновения ИК-излучения в образце которой составляет около 1.5 мкм), не обнаруживается каких-либо изменений – сигнал от объемного слоя образца в этом случае перекрывает слабый сигнал от поверхностного слоя. Это указывает на то, что изменения при обработке ПЭТФ мембран в плазме исследуемого газа происходят в тонком поверхностном слое, не затрагивая объема полимерной матрицы.

На основании вышеизложенного можно заключить, что обработка ПЭТФ ТМ в плазме воздуха приводит к образованию на их поверхности тонкого модифицированного слоя с нарушенной структурой, содержащего деструктированные макромолекулы с окисленными группами в местах разрыва химических связей. Воздействие плазмы вызывает, кроме того, значительные морфологические изменения поверхности. На первоначально гладкой полимерной поверхности появляются многочисленные кратеры – окисленно-деструктированные области, возникновение которых объясняется различием скоростей травления аморфных и кристаллических областей полимера [8]. Поверхность мембран становится шероховатой (см. рис. 1, б). Размеры кратеров при варьировании условий обработки и длительности воздействия разряда изменяются (рис. 4) и эти изменения наиболее выражены при воздействии плазмы воздуха. Развитие эрозии поверхности мембран и их гидрофилизация обуславливают повышение смачиваемости – величина краевого угла смачивания мембран существенно уменьшается (см. табл. 1). Сравнительный анализ данных, приведенных в табл. 1, показывает, что изменение параметров разряда влияет на величину предельного значения краевого угла смачивания. Повышение давления плазмообразующего газа при определенной мощности разряда и длительности обработки способствует достижению меньшего значения величины краевого угла смачивания. Проведенные аналогичные исследования позволили установить, что увеличение мощности разряда также способствует достижению предельного значения величины краевого угла смачивания за более короткое время воздействия.

Увеличение содержания карбоксильных групп в поверхностном слое мембран, вызывающее повышение отрицательного заряда пор в растворе, а также развитие шероховатости поверхности и приводят к положительному результату – уменьшению адсорбции белков и других составляющих внутриглазной жидкости (их диаметр около 0.2 мкм),

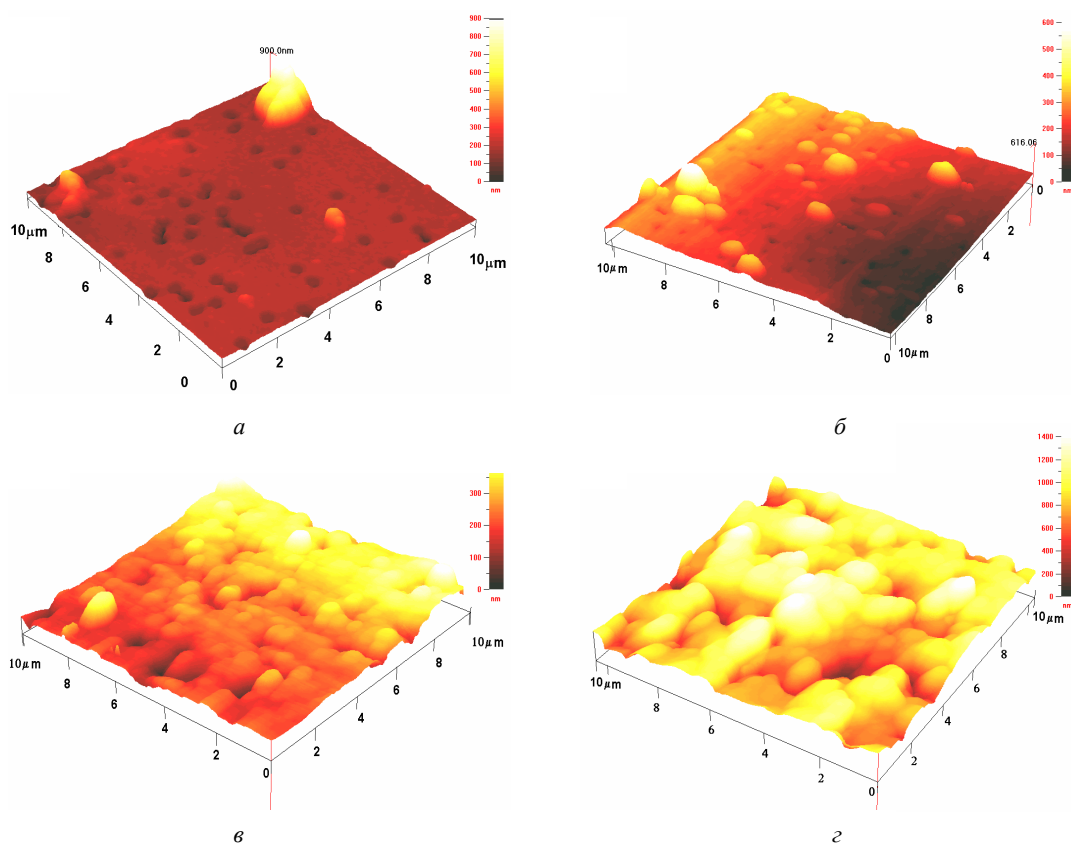


Рис. 4. Микрофотографии поверхности исходной ПЭТФ ТМ с диаметром пор 0.4 мкм (а) и обработанных в плазме воздуха мембран в течение 1 (б), 5 (в) и 10 мин (г). Параметры разряда: давление газа в вакуумной камере 53.5 Па, мощность разряда 60 Вт

а также клеток крови [9]. Данный результат обусловлен отталкиванием молекул белков, имеющих также отрицательный заряд.

2.3. Использование трековых мембран с наноструктурированной поверхностью при антиглаукоматозных операциях в эксперименте

При определении токсического действия эксплатордренажа на окружающие ткани после имплантации его в переднюю камеру 10 глаз кроликов срок наблюдения составил 30 дней. Воспалительная реакция у экспериментальных животных соответствовала 0-й степени воспаления в 25 глазах и в 5 случаях – 1-й степени (слабо выраженная реакция) и полностью купировалась на 7-й день после стандартного противовоспалительного лечения. В результате исследования цитотоксичности дренажей при нанесении на монослой фибробластов экстракта дренажа не было выявлено гибели клеток и их морфологических изменений. Токсичность соответствовала 0-й степени (по 5-балльной шкале).

После антиглаукоматозных операций во всех случаях при биомикроскопии определялись плоские разлитые фильтрационные подушечки. Слизистая оболочка над фильтрационной подушкой была хорошо васкуляризована (рис. 5).

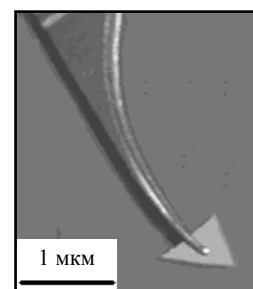


Рис. 5. Внешний вид дренажа из ПЭТФ ТМ, используемого при антиглаукоматозных операциях

Избыточного рубцевания и формирования псевдокистозных полостей не наблюдалось. Спустя две недели уровень внутриглазного давления составил 17.6 ± 2.6 мм рт. ст. Эта тенденция сохранялась в течение 12 месяцев.



В ходе морфологических исследований было установлено, что в тканях, окружающих имплантат, отсутствовали выраженные реактивные воспалительные изменения. Через 2 недели определялась умеренная клеточная реакция. Вокруг дренажа сформировалась тончайшая соединительнотканная капсула с единичными фибробластами и фиброцитами. Через 4 недели визуализировалось свободное пространство между дренажом и склерой; слабо выраженная инфильтрация гистиоцитами и единичными фибробластами. В случаях имплантации дренажей, обработанных в плазме кислорода, между имплантатом и склерой капсула отсутствовала. Определялись лишь единичные участки нежной волокнистой соединительной ткани и свободное пространство на всем протяжении. Через 1 год после имплантации признаков биодеструкции не обнаружено. Дренаж сохранял свои функциональные свойства.

Заключение

Суммируя полученные результаты, можно заключить следующее. Воздействие плазмы ВЧ-разряда в неполимеризующихся газах на полиэтилентерефталатные трековые мембраны приводит к образованию асимметричных трековых мембран с повышенной производительностью, структура и химический состав поверхностного слоя которых изменены – наноструктурированы. Наличие наноструктурированного слоя на поверхности мембран вызывает изменение целого ряда свойств ПЭТФ ТМ. Увеличение содержания карбоксильных групп в поверхностном

слое мембран приводит к повышению степени их гидрофильности. Развитие эрозии поверхности мембран и их гидрофилизация обуславливают повышение смачиваемости ПЭТФ ТМ, величина которой зависит от интенсивности разряда и длительности его воздействия. Увеличение содержания карбоксильных групп в поверхностном слое мембран, вызывающее повышение отрицательного заряда пор в растворе, а также развитие шероховатости поверхности и приводят к уменьшению адсорбции белков и других составляющих внутриглазной жидкости, а также клеток крови. Повышение пористости модифицированных мембран приводит к улучшению их фильтрационных характеристик.

Список литературы

1. Флеров Г. Н. // Вестн. АН СССР. 1984. № 4. С. 35.
2. Dmitriev S. N., Kravets L. I., Sleptsov V. V. // Nucl. Instr. and Meth. B. 1998. Vol. 142. P. 43.
3. Мулдер М. Введение в мембранную технологию / пер. с англ. ; под ред. Ю.П. Ямпольского, В.П. Дубяги. М. : Мир, 1999. 513 с.
4. Реутов В. Ф., Дмитриев С. Н. // Рос. хим. журн. 2002. Т. 46, №5. С. 74.
5. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. М. : Изд-во иностр. лит., 1963. 590 с.
6. Kravets L. I., Dmitriev S. N., Sleptsov V. V., Elinson V. M. // Surf. Coat. Technol. 2003. Vol. 174–175. P. 821.
7. Иванов С. И. // Химия высоких энергий. 1983. Т. 17, № 3. С. 253.
8. Чалых А. Е., Петрова И. И., Василенко Ж. Г., Герасимов В. И., Брусенцова В. Г. // Высокомолек. соед. 1974. Т. 16А, № 6. С. 1289.
9. Kamath S., Bhattacharyya D., Padukudru C. et al. // J. Biomed. Mater. Res. Part A. 2007. Vol. 86. P. 617.