



УДК: 615.468.21

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА И АДГЕЗИИ  
ДВУХСЛОЙНЫХ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ МЕМБРАН***Ярмamedов Д.М., Липатов В.А., Гокин А.Г.**ФГБОУ ВО Курский государственный медицинский университет, Минздрава России, г. Курск, Россия*

**Аннотация.** Атомно-силовая микроскопия позволяет решить проблему стандартизации параметров рельефа. Исследованы образцы антибактериальных двухслойных полимерных мембран, которые отличались различными способами изготовления и концентрацией антисептического вещества. Проанализированы различные параметры рельефа, такие как 2D шероховатость изучена в соответствии со стандартами ISO 4287-1 и ISO 4287. 3D шероховатость проанализирована в соответствии со стандартом ASME B46. Также оценена степень адгезии к кантилеверу изучаемых образцов по разности между значением DFL, соответствующим горизонтальному участку кривой, и минимальным значением DFL. Высокая сила корреляционной связи свидетельствует о большей зависимости величины адгезии от характеристик образца № 8.

**Ключевые слова.** Атомно-силовая микроскопия, сканирующая зондовая микроскопия, нанотехнологии, импланты, двухслойная мембрана.

Внедрение в широкую практику атомно-силовой микроскопии открыло возможность постановки и решения проблемы установления единообразия в оценке (стандартизации) параметров рельефа (структуры) хаотических поверхностей разнообразных твердофазных объектов. Особый интерес представляет собой исследование медицинских имплантов, так как выявленные характеристики позволяют без использования живых организмов выявить наилучшие образцы из экспериментальной серии. Для оценки степени адгезии, характера микрорельефа исследуемых образцов использовался сканирующий зондовый микроскоп NT-MDT Solver Next под управлением программы Image Analyses 3.0. В процессе изучения, использовались кантилеверы фирмы NT-MTD NSG01-A и NSC-19.

Были исследованы 9 образцов двухслойных антибактериальных полимерных мембран, которые отличались способом изготовления и концентрацией антисептического вещества. Импланты позволяют повысить уровень герметизации при операциях на полых органах брюшной полости, путем укрытия швов и других дефектов.

Использование двухслойных мембран позволит проводить успешную профилактику спаечной болезни брюшины и предупредить развитие перитонита. Статистическая обработка полученных данных производилась методом доверительных интервалов.

Показатель «peak-to-peak» – размах выборки, разность между максимальным и минимальным значениями по оси Z, позволяет определить амплитуду колебаний высот пленки. Наименьшие амплитуды колебаний выявлены у образцов № 7 (116,947 нм) и 9 (139,37 нм), что позволяет судить о более гладком рельефе данных мембран вследствие меньшего различия между минимальным значением и максимальным (наивысшая точка полимерной мембраны).

Показатель «Roughness average» – среднее арифметическое значение шероховатости выбранной области, позволяет судить об однородности изучаемой поверхности. Наименьшее среднее арифметическое значение шероховатости выявлено у образцов № 9 (11,518 нм) и 8

(11,919 нм), что свидетельствует о наиболее однородной поверхности среди исследованных полимеров.

Показатель «Ra, Arithmetical mean deviation of profile» – среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах выборочной длины. Наименьшее среднее арифметическое абсолютных значений отклонений выявлено у образцов № 5 ( $0,13 \pm 0,031$  нм), 2, 3, 4 (по  $0,08 \pm 0,031$  нм). У образцов № 7 и 9 среднее арифметическое значений отклонений равно  $4,75 \pm 2,053$  нм и  $10,49 \pm 3,389$  нм соответственно.

Показатель «L0, Developed profile length» – длина, которая образуется при вытягивании всех выступов и впадин профиля в пределах базовой длины в прямую линию. Наименьшая длина растянутого профиля выявлена у образцов № 8 ( $9,99 \pm 0,008$  мкм), 7 ( $10 \pm 0,021$  мкм) и 9 ( $10,01 \pm 0,018$  мкм). Таким образом, можно сделать вывод, что поверхность данных образцов является наиболее равномерной и наименее шероховатой, что дает основание предположить о лучшем контакте образца с подложкой.

Показатель «Rp, maximum profile peak height» – демонстрирует расстояние между самой высокой точкой профиля и средней линией в пределах оценочной длины. Показатель «Rv, maximum profile valley depth» – расстояние между самой низкой точкой профиля и средней линией в пределах оценочной длины. Параметр «Rc, mean height of roughness profile elements» – среднее арифметическое абсолютных значений отклонений высоты профиля от средней линии в пределах оценочной длины. Данные параметры позволяют определить профиль шероховатости поверхности, а также асимметрию оцениваемого профиля и его крутизну. Таким образом, с помощью данных параметров можно выявить образцы с наиболее гладким рельефом и низким профилем шероховатости.

Таким образом, исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что наименьшую высоту пика профиля, максимальную глубину впадины профиля и среднее арифметическое абсолютных значений отклонений высоты имеют образцы № 2, 3, 4, 5, 6. Для образца № 7 –  $R_p = 27,22 \pm 20,095$  нм,  $R_v = 15,59 \pm 10,121$  нм,  $R_c = 4,56 \pm 1,429$  нм. Поверхность данных образцов является наиболее равномерной и наименее

шероховатой, что дает основание предположить о лучшем контакте образца с подложкой.

Показатель «Sa Average roughness» – средняя шероховатость, рассчитывается исходя из значений средней шероховатости образца, можно судить о структуре его рельефа, от которого зависит площадь соприкосновения образца и подложки, что определяет степень их взаимодействия. Наименьшие показатели величины средней шероховатости выявлены у образцов № 7 и 9:  $7,74 \pm 6,807$  нм и  $9,7 \pm 2,485$  нм соответственно.

Для определения рельефа поверхности и колебаний высот используют следующие показатели: «Sp, Maximum area peak height» – максимальная высота, отсчитываемая от средней поверхности, «Sv, Maximum area valley depth» – максимальная глубина, отсчитываемая от средней поверхности и «St, Area peak-to-valley height» – вертикальное расстояние между максимальной высотой и максимальной глубиной.

Наименьшая максимальная высота, максимальная глубина и вертикальное расстояние между максимальной высотой и максимальной глубиной отмечены у образцов № 7, 8, 9. При этом показатели образца № 7 являются наиболее благоприятными для взаимодействия образца и подложки, что дает основание полагать о лучшем контакте пленки с другими материалами.

Показатель «Адгезия» является одним из наиболее важных, так как дает основание полагать о степени сцепления образца с подложкой. Значение параметра Adhesion равно разности между значением DFL, соответствующим горизонтальному участку кривой, и минимальным значением DFL. Максимальное значение уровня адгезии зафиксировано у образца № 1, оно составило  $0,21 \pm 0,067$  нН. Высокие значения адгезии обнаружены у образцов № 2, 3, 4, что свидетельствует о лучшем взаимодействии образца с подложкой.

Таким образом, исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что наименьшую высоту пика профиля, максимальную глубину впадины профиля и среднее арифметическое абсолютных значений отклонений высоты имеют образцы № 2, 3, 4, 5, 6. Для образца № 7 –  $R_p = 27,22 \pm 20,095$  нм,  $R_v = 15,59 \pm 10,121$  нм,  $R_c = 4,56 \pm 1,429$  нм. Поверхность данных образцов является наиболее равномерной и наименее шероховатой, что дает основание предположить

о лучшем контакте образца с подложкой. Наилучшими образцами с точки зрения шероховатости поверхности и уровня адгезии для дальнейшего исследования в условиях *in vivo* являются образцы № 2, 3, 4.

По коэффициенту корреляции вышеперечисленных параметров с адгезией можно сделать вывод о силе и направленности корреляционной связи, что позволит судить о степени адгезии образца в зависимости от его характеристик. Так, у образцов № 2-4 выявлена умеренная обратная связь корреляции по параметрам «maximum peak height of roughness profile» и «mean height of roughness profile elements». У образца № 8 выявлена обратная умеренная корреляционная связь параметров «arithmetical mean deviation of profile», «developed profile length», «maximum valley depth of roughness profile», обратная сильная корреляционная связь параметров «average roughness», «area peak-to-valley height»,

«maximum area valley depth» и прямая умеренная корреляционная связь параметра «maximum peak height of roughness profile». Высокая сила корреляционной связи свидетельствует о большей зависимости величины адгезии от характеристик образца № 8.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов А.В., Липатов В.А., Лазаренко С.В., Жердев Н.Н., Северинов Д.А. Влияние механических характеристик сосудистой заплаты на формирование перипротезной капсулы // Журнал имени академика Б.В. Петровского. 2016. № 1. С. 51–57.
2. Липатов В.А., Инархов М.А., Ярмамедов Д.М., Лысанская К.В. Морфологические и физико-механические свойства полимерных пленчатых имплантатов в опытах *in vitro* // Забайкальский медицинский вестник. 2015. № 1. С. 129-133.
3. Maver U., Velnar T., Gaberšc M., Planinšek O., Finšgar M. Recent progressive use of atomic force microscopy in biomedical applications // Trends in Analytical Chemistry. 2016. № 80. P. 97-108.

## STUDY OF THE PARAMETERS OF RELIEF AND ADHESION OF BILAYER ANTIBACTERIAL MEMBRANES

*Yarmamedov D.M., Lipatov V.A., Gokin A.G.*

*Kursk State Medical University, Russian Ministry of Health, Kursk, Russia*

**Annotation.** Atomic force microscopy allows us to solve the problem of standardization of the relief options. Samples of antibacterial polymer bilayer membranes that a variety of different concentrations and a method of manufacturing an antiseptic substance. Analyzed the various relief options such as 2D roughness is studied in accordance with ISO 4287-1 and ISO 4287. 3D roughness standards analyzed in accordance with the standard ASME B46. Also assessed the degree of adhesion to the cantilever of the studied samples from the difference between the value of the DFL, plateau of the curve, and the minimum value of the DFL. The high strength of correlation indicates a greater dependence of the adhesion of the sample number 8 characteristics.

**Keywords.** Atomic force microscopy, scanning probe microscopy, nanotechnology, implants, two-layer membrane.

#### REFERENCES

1. Ivanov A.V., Lipatov V.A., Lazarenko S.V., Zherdev N.N., Severin D.A. Influence of the mechanical characteristics of the vascular patch on the formation of periprosthetic capsule // Journal Academician B.V. Petrovsky. 2016. № 1. P. 51-57.

2. Lipatov V.A., Inarkhov M.A., Yarmamedov D.M., Lysanskaya K.V. Morphological and physical-mechanical properties of polymer filmy implants in experiments *in vitro* // Zabaikal'skii Medical Gazette. 2015. № 1. P. 129-133.
3. Maver U., Velnar T., Gaberšc M., Planinšek O., Finšgar M. Recent progressive use of atomic force microscopy in biomedical applications // Trends in Analytical Chemistry. 2016. № 80. P. 97-108.