

# МЕТОД АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ НАНОЧАСТИЦ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭРИТРОЦИТАРНОЙ МЕМБРАНЫ У ПАЦИЕНТОВ С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ

*Мельникова Г.Б., Константинова Е.Э., Кужель Н.С.,*

*Шишко О.Н., Дрозд Е.С., Антонова Н.М.*

Одно из современных направлений развития нанотехнологий – использование наночастиц в качестве наноконтейнеров для доставки лекарств, изучение степени их воздействия на клеточную мембрану. В последние годы показана перспективность использования методов атомно-силовой микроскопии (АСМ) для оценки влияния наночастиц различной природы на упругие свойства мембраны красных клеток крови. Метод АСМ позволяет не только визуализировать структуру мембраны эритроцитов, но и оценить ее упругие и адгезионные характеристики.

**ЦЕЛЬ** работы – оценить влияние наночастиц полиакриловой кислоты на упругие и адгезионные свойства мембраны эритроцитов у пациентов с сахарным диабетом методом атомно-силовой микроскопии.

**МЕТОДЫ.** Обследовано 2 группы пациентов с сахарным диабетом 1 и 2 типа. Эритроциты для исследования методом АСМ выделяли из венозной крови, стабилизированной этилендиаминтетраацетатом калия. Для исследования воздействия наночастиц к 0,5 мл выделенных эритроцитов добавляли 20 мкл раствора наночастиц полиакриловой кислоты (РАА). Инкубирование наночастиц с красными клетками крови проводили в течение 20, 40 и 60 мин. Используемые полимерные наночастицы – растворы линейной РАА с  $M_n$  6000, 20000, 225000 Да ( $c = 0,2$  мг/мл и 1 мг/мл) в 0,9 % растворе хлорида натрия (Antonova N., et al. // Appl. Rheol. 24 (2014) 35190).

Изменение упругих характеристик мембраны клетки фиксировали путем измерения модуля упругости по модели Герца на атомно-силовом микроскопе NT-206 с использованием стандартных кремниевых зондов NSC 11, жесткость 3 Н/м («MikroMash»). Силу адгезии рассчитывали при отрыве острия зонда от поверхности образца согласно модели Джонсона-Кенделла-Робертса.

**РЕЗУЛЬТАТЫ.** Установлено, что после инкубирования наночастиц РАА с  $M_n$  20 000 и 225000 Да ( $c = 1$  мг/мл) с эритроцитами в течение 60 мин значения модуля упругости мембраны эритроцитов не изменяются, сила адгезии уменьшается на 13 %.

В то же время эффект воздействия наночастиц с  $M_n$  от 6000 до 225 000 Да ( $c = 0,2$  мг/мл) на механические свойства мембраны эритроцитов выражен сильнее – изменения достигают 50 % с увеличением времени инкубации. Влияние наночастиц РАА с  $M_n$  6000 Да ( $c = 1$  мг/мл) также присутствует после их воздействия в течение 60 мин (26 %). При меньшем времени инкубирования изменения значений модуля упругости и силы адгезии не превышают среднестатистического разброса.

**ВЫВОДЫ.** В результате проведенной работы оценено влияние полимерных наночастиц РАА на механические свойства мембраны эритроцитов методом АСМ. Показано, что наиболее выражено воздействие на вязко-упругие свойства эритроцитарной мембраны наночастиц РАА с  $M_n$  20 000 и 225 000 ( $c = 0,2$  мг/мл) имеет место после инкубирования с клетками в течение 20 мин.