

Исследование углеродных покрытий в микроканалах в условиях варьируемого сдвигового напряжения потока жидкости

Ефремова К.Д.^{1,2}, Гасаров П.В.¹

popovich_k@staff.sechenov.ru

¹ Институт биомедицинских систем, Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники, Москва, Зеленоград, Россия

² ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия

Проблема гемосовместимости медицинских изделий, контактирующих с кровью остается одной из ключевых в современной биомедицинской инженерии. Согласно фундаментальной концепции триады Вирхова, тромбообразование на поверхности имплантируемого материала определяется не только характеристиками поверхности и составом крови, но и гемодинамическими условиями [1]. Критическим параметром, регулирующим взаимодействие на границе «материал-кровь», выступает напряжение сдвига на стенке сосуда, значения которого в артериальном русле могут достигать величин, индуцирующих сублетальные повреждения эритроцитов и их гемолиз. Традиционные статические методы оценки гемосовместимости, регламентируемые стандартом ISO 10993-4, не учитывают фактор потока биологической жидкости, что может приводить к ложноотрицательным результатам при тестировании антитромботических покрытий. Динамические методы исследования в микрофлюидных системах позволяют прецизионно контролировать параметры напряжения сдвига, моделировать физиологический режим течения и минимизировать объемы используемых реагентов, что обуславливает их предпочтительность для доклинических исследований перспективных углеродных покрытий.

Целью настоящей работы являлась разработка микрофлюидной платформы для исследования воздействия биологической среды на углеродные покрытия в условиях контролируемого потока с заданными параметрами напряжения сдвига, соответствующими физиологическому и патофизиологическому диапазонам. Методом вычислительной гидродинамики выполнено численное моделирование течения двух модельных жидкостей: фосфатно-буферного раствора и 4% раствора бычьего сывороточного альбумина, имитирующего белковый состав плазмы крови. Основной задачей моделирования являлось определение оптимальных геометрических параметров микроканала, обеспечивающих генерацию целевых значений напряжения сдвига 50, 100 и 150 Па. Выбранный диапазон соответствует различным стадиям клеточного ответа эритроцитов: 50–80 Па индуцируют сублетальные повреждения и ухудшение деформируемости клеток, тогда как превышение порога 150 Па инициирует гемолиз с разрушением мембраны и высвобождением гемоглобина [2]. На основе рассчитанных параметров методом мягкой литографии из полидиметилсилоксана была изготовлена пластина с микроканалом, интегрированная в корпус, напечатанный методом FDM-печати из полиэтилентерефталат-гликоля.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (Проект FSMR-2024-0003).

Ссылки

1. N. K. Pandian, R. G. Mannino, W. A. Lam, A. Jain. Current opinion in biomedical engineering (2018), 5, 29.
2. J. T. Horobin, S. Sabapathy, Simmonds M. J. Artificial organs (2017), 41, 1017.