

## Макрофаги разрушают промышленные многостенные углеродные нанотрубки

Научный руководитель – Масютин Александр Георгиевич

*Тарасова Екатерина Константиновна*

*Студент (бакалавр)*

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Биологический факультет, Кафедра клеточной биологии и гистологии, Москва, Россия

*E-mail: shalioto@rambler.ru*

Вопросы деградации многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) в клетках и тканях живых организмов являются актуальными в связи с расширением областей применения МУНТ, увеличением объёмов производства и возрастания рисков их попадания в биосистему. Известно, что нейтрофилы и макрофаги способны индуцировать деградацию углеродных нанотрубок при их попадании в организм с помощью активных форм кислорода. Основная масса работ по деградации МУНТ сделана на лабораторно-синтезированных МУНТ, имеющих близкую к идеальной структуру. При этом, основная масса производимых МУНТ является промышленными, гетерогенными и высоко дефектными, из-за чего можно предполагать, что они сильнее подвержены деградации.

Целью работы являлось изучение деградации промышленных МУНТ под действием активных соединений, вне- и внутриклеточно вырабатываемых макрофагами.

В работе использовали клетки линии ТНР-1, стимулированные в макрофагальную дифференцировку действием форболового эфира (100 нМ). На третий день дифференцировки клеток, в культуральную среду добавили сухую навеску МУНТ (250 мкг/мл) и инкубировали в течение десяти суток. Деградацию МУНТ изучали в разных экспериментальных моделях: (1) В целях изучения внеклеточной деградации МУНТ отбирали культуральную среду, содержащую непоглощённые наночастицы; (2) Для изучения поглощённых МУНТ клетки подвергли гипотоническому шоку и исследовали полученный лизат; (3) Исследовали ультраструктуру макрофагов для определения клеточного компартмента, в котором происходит деградация интернализированных МУНТ. В работе использовали методы трансмиссионной и аналитической электронной микроскопии.

Промышленные МУНТ имеют толстые стенки, узкий внутренний канал (7-9 нм), извилистую форму. Подвергшиеся внеклеточной деградации МУНТ характеризуются локальным увеличением внутреннего канала (до 18 нм). Выделенные из клеточного лизата МУНТ имеют деформированную структуру стенки и не имеют видимых признаков внутреннего канала. В клетках линии ТНР-1 нами были выявлены интернализированные МУНТ, локализованные как в эндосомах, так и свободно лежащие в цитоплазме. В тех же компартментах были детектированы кластеры электронно-плотных частиц размером от 4 до 20 нм. Исследование данных частиц методом дифракции электронов не выявило их кристаллическую структуру. Элементный анализ данных частиц показал их углеродную природу.

Результаты исследования показали, что под действием выделяемых клетками в культуральную среду активных веществ, внеклеточные МУНТ подвергаются окислительной деградации со стороны внутреннего канала. Под действием внутриклеточного пищеварения промышленные МУНТ постепенно изменяют свою морфологию, разрушаясь до аморфного углерода. Таким образом, нами впервые показано, что в рамках данной модели макрофаги способны в течение десятидневной инкубации полностью разрушать промышленные МУНТ.