

ФОТОДИНАМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК

Степанова М.С. (Университет ИТМО), Дубовик А.Ю. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.ф.-м.н., Захаров В.В.

(Университет ИТМО)

В качестве объекта исследования были выбраны углеродные точки, синтезированные гидротермальным методом. В ходе работы были исследованы оптические свойства полученных углеродных точек. Была продемонстрирована способность углеродных точек генерировать активные формы кислорода.

Введение. Одним из методов лечения онкологических заболеваний является фотодинамическая терапия (ФДТ). Метод основан на разрушении опухолевых клеток активными формами кислорода (АФК), генерируемыми фотосенсибилизатором под действием света. Однако для генерации АФК первостепенное значение имеют такие фотофизические свойства фотосенсибилизатора, как межсистемное пересечение синглет-триплет, нацеливание на опухоль, а также биосовместимость и быстрый клиренс. На сегодняшний день существуют несколько типов сенсibilизаторов, к ним относятся такие общепринятые фотосенсибилизаторы как фталоцианин, хлорин и порфирин, которые широко используются в клинической практике. Несмотря на это, они имеют ряд недостатков, к которым относятся ферментативная деградация, узкие полосы поглощения и, следовательно, необходимость тщательного выбора источника излучения, а также ограниченная способность к накоплению в опухолевых клетках, плохая растворимость в воде и медленное выведение из организма. Таким образом, разработка гибридных систем фотосенсибилизаторов с использованием наноматериалов является актуальной научной задачей. Использование таких наночастиц, как биосовместимые углеродные точки (УТ) может помочь в решении проблем с токсичностью и исследованиях *in vivo* и *in vitro*. Углеродные точки представляют собой перспективный класс люминесцирующих наноматериалов на основе углерода и стали популярны, благодаря своим свойствам: доступный синтез, высокий квантовый выход флуоресценции, низкая токсичность, высокая биосовместимость, фотостабильность и широкая полоса поглощения. УТ обладают низкой темновой цитотоксичностью, что привлекательно для их использования в биологических системах.

Основная часть. Углеродные точки были синтезированы гидротермальным методом. Лимонную кислоту и этилендиамин растворяли в деионизированной воде с образованием прозрачного раствора. Затем раствор переносили в автоклав из нержавеющей стали для гидротермальной реакции. После термообработки при 200°C в течение 5 часов продукты реакции фильтровали через мембрану для удаления остатков крупных частиц. Исходный раствор разбавляли ацетоном для осаждения твердых частиц. Осадок собирали центрифугированием с последующей очисткой смесью этанола с ацетоном, после чего сушили аргоном. Для восстановления полученных углеродных точек порошок УТ растворяли в воде с последующим добавлением избыточного количества NaBH_4 , смесь перемешивали при комнатной температуре в течение 4 часов. Полученный раствор очищали методом диализа в течение одного дня. Растворы УТ были исследованы на разных стадиях синтеза и модификации с целью сравнения оптических свойств. В спектре поглощения полученных УТ был обнаружен интенсивный пик на длине волны 340 нм и небольшое поглощение после 400 нм. В спектрах фотолюминесценции обнаружена полоса с максимумом на длине волны 445 нм при возбуждении светом с длиной волны 350 нм. Спектр излучения УТ зависит от длины волны возбуждения в диапазоне длин волн 350 - 460 нм, при увеличении длины волны возбуждения наблюдается длинноволновый сдвиг максимума фотолюминесценции одновременно с уменьшением интенсивности ФЛ. После очистки, восстановления и диализа УТ демонстрируют схожие спектральные свойства за исключением небольшого

длинноволнового сдвига (10 нм) максимума в спектрах ФЛ. Singlet Oxygen Sensor Green (SOSG) - это селективный реагент, предназначенный для обнаружения синглетного кислорода. В присутствии синглетного кислорода происходит увеличение интенсивности флуоресценции на длине волны 525 нм. Таким образом, для обнаружения синглетного кислорода, необходимо изучить динамику изменения флуоресценции сенсора. Увеличение интенсивности ФЛ будет указывать на генерацию АФК под воздействием света. Было исследовано влияние модификации УТ на эффективность генерации АФК. Водные растворы УТ были подвергнуты ультрафиолетовому (УФ) облучению на длине волны 365 нм, мощность воздействия составила порядка 2,5 мВт. Анализ спектров поглощения углеродных точек до и после модификации в присутствии сенсора показал, что они имеют схожий вид при воздействии УФ. Наблюдается небольшое уменьшение оптической плотности в полосе поглощения точек. Спектры ФЛ водных растворов УТ до и после модификации, зарегистрированные при возбуждении в полосе поглощения сенсора, демонстрируют схожую тенденцию. Однако интенсивность ФЛ сенсора в исходном растворе точек увеличивается динамичнее, чем в присутствии углеродных точек после восстановления и диализа. Увеличение интенсивности ФЛ сенсора в исходном растворе УТ подтверждает генерацию АФК. Незначительные изменения в спектре ФЛ сенсора в растворе очищенных углеродных точек после диализа при облучении ультрафиолетом в течение 40 минут демонстрирует отсутствие генерации АФК восстановленными УТ.

Выводы. Углеродные точки были получены методом гидротермального синтеза. Полученные УТ были охарактеризованы с помощью измерений УФ-видимого поглощения и флуоресценции. В результате гидротермальной реакции полученные УТ имеют зависимость от длины волны возбуждения фотолюминесценцию. В работе были исследованы фотодинамические свойства углеродных точек. Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что углеродные точки способны самостоятельно генерировать активные формы кислорода. Реакция сенсора на воздействие светом в присутствии УТ подтверждает наличие фотодинамического эффекта. Однако, эффективность генерации синглетного кислорода не очень высокая. Кроме того, последующая обработка полученных УТ может ухудшать фотодинамический эффект.