

основе изотопа галлий-68 (^{68}Ga ; $T_{1/2} = 68$ мин; β^+ 89%; $E_{\beta\text{max}} = 1.92$ МэВ). Для введения изотопа в биомолекулы (пептид, аффиди, наноконтингент, F(ab)2 фрагменты антител) они конъюгируются с различными бифункциональными хелатирующими агентами (БХА), ответственными за транспорт радионуклида *in vivo*. Связывание ^{68}Ga с БХА обеспечивается за счет правильного подбора буферной системы. Обычно в качестве буфера используют HEPES (4-(2-гидроксиэтил)-1-пиперазинэтансульфоновая кислота). В то же время, в соответствии с Европейской Фармакопеей HEPES является токсичной примесью в растворах для парентерального применения. Ранее нашей группой было установлено, что протонные алканоламмониевые ионные жидкости (TEA, TRIS, PDA и TPA соли карбоновых кислот) являются альтернативой HEPES в реакциях мечення БХА и пептидов [1-3]. Также было установлено, что для ряда буферов наблюдается эффективное взаимодействие уже при 37 °С. Цель данной работы заключается в изучении взаимодействия изотопа галлий-68 с БХА в среде диэтаноламмониевых (DEA) и BIS-TRIS солей карбоновых кислот.

$[^{68}\text{Ga}]\text{GaCl}_3$ получали из генератора $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ в виде раствора в 0.1 М HCl. При проведении реакции в пробирке смешивали 5 мкг БХА, 50 мкл 1М водного раствора буфера, 75 мкл ацетона и 250 мкл раствора $[^{68}\text{Ga}]\text{GaCl}_3$ (10-50 МБк). Полученную смесь инкубировали в термошейкере (37 °С; 15 мин; 1000 RPM). Радиохимическую конверсию (РХК) определяли методом радио-ТСХ. В случае 12-ти членного циклического хелатора p-SCN-Bn-DOTA наивысшие значения достигаются для DEA бензоата ($68.5 \pm 4.6\%$) и сукцината ($50.7 \pm 6.8\%$), а для BIS-TRIS солей бензойной и 2-метилфеноксиуксусной кислот $41.0 \pm 1.9\%$ и $31.4 \pm 2.7\%$, соответственно. Следует отметить, что в аналогичных условиях для HEPES реакция протекает с РХК $51.3 \pm 3.8\%$. Аналогичная РХК наблюдалась и для хелатора p-SCN-Bn-DOTA-GA. РХК реакций для 9-ти членных циклических БХА p-SCN-Bn-NOTA и p-SCN-Bn-NODA-GA достигает 70-90%, а для SCN-MP-NODA $50-70\%$ для DEA солей и 20-30% для BIS-TRIS солей. Помимо этого, в среде DEA солей ациклические хелаторы p-SCN-Bn-DTPA, p-SCN-Bn-DFO и HBED взаимодействовали с $[^{68}\text{Ga}]\text{GaCl}_3$ с РХК до 80%, в то время как для BIS-TRIS солей конверсия была незначительна. Таким образом, можно сделать вывод, что DEA и BIS-TRIS соли обладают потенциалом для применения в качестве буферных агентов в реакциях ^{68}Ga -радиомечення. В дальнейшем планируется исследовать буферы в реакциях мечення биомолекул.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 20-73-00033)

1. D. Antuganov, et. al, *ChemistrySelect*, 2019, **4**(43), 12524-12527.
2. D. Antuganov, et. al, *ChemistrySelect*, 2020, **5**(35), 10953-10957.
3. Y.A. Kondratenko, et. al, *J. Mol. Liq.*, 2021, **324**, 114717.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИТОВ ЛАНТАНОИДОВ И УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ В КАЧЕСТВЕ КОНТРАСТИРУЮЩИХ АГЕНТОВ ДЛЯ МУЛЬТИЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

Шашурин Д.А.¹, Сусллова Е.В.², Козлов А.П.², Рожков В.А.³,
Черепанова Е.А.³, Расторгуев Д.Д.³, Савилов С.В.², Шелков Г.А.³, Медведев О.С.¹

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

Факультет фундаментальной медицины, Москва, Россия

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Химический факультет,
Москва, Россия

³ Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, Россия
shashurin@mail.ru

Мультиэнергетическая компьютерная томография (МКТ) представляет собой уникальный рентгенологический метод, основанный на применении гибридных пиксельных детекторов на основе микросхемы считывания Medipix, которые позволяют получить не только координатную информацию, но и данные об энергии каждого зарегистрированного фотона. В отличие от традиционных рентгенографических методов, МКТ позволяет проводить дифференциальную регистрацию рентгеновской плотности различных химических элементов, входящих в состав исследуемого объекта, что открывает принципиально новые возможности для экспериментальных исследований и медицинской диагностики.

Для наиболее полного использования всех возможностей МКТ при проведении биомедицинских исследований необходимо использование контрастных агентов, содержащих элементы с атомным числом более 28. Кроме того, современные энергочувствительные томографы позволяют одновременно определять до 6 различных элементов, что делает возможным одновременное использование комбинаций таких агентов.

В настоящей работе предложен метод прижизненной визуализации специфических высокомолекулярных биополимеров с применением МКТ и контрастирующих агентов, представляющих собой лиганд-активированные композиты Lp с функционализированными углеродными наноматериалами (УНМ). Использование Lp позволяет синтезировать композитные материалы с различными контрастирующими элементами с помощью единой методики. Использование в качестве носителя функционализированных УНМ позволяет связывать композиты с различными низкомолекулярными соединениями, обладающими высокой аффинностью к целевым биополимерам (например, белкам), что позволяет визуализировать их в живом организме.

В работе подробно описаны методы синтеза и результаты физико-химических анализов композитов наночастиц лантана, нанесенных на матрицы из углеродных наночешуек. Представлены результаты калибровочных экспериментов по визуализации данных композитов с помощью МКТ в условиях *in vitro*. Показано, что чувствительность метода достаточна для применения данных композитов как для неспецифического, так и для лиганд-ориентированного контрастирования.

ТЕПЛОСТОЙКИЕ СВЯЗУЮЩИЕ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОГО ОЛИГОМЕРА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ТЕРМОПЛАСТАМИ

Горбунова И.Ю.¹, Полунин С.В.¹, Крючков И.А.², Онучин Д.В.¹, Кербер М.Л.¹

¹Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,

²Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова
igorbunova@muctr.ru

Эпоксидные смолы являются одними из самых распространенных связующих для композиционных материалов. Это обусловлено их хорошей адгезией к большинству наполнителей, широким выбором олигомеров и отвердителей, позволяющих получать материалы с разнообразными свойствами, высокими эксплуатационными характеристиками в отвержденном состоянии. Известно, что эпоксидные полимеры являются достаточно хрупкими, поэтому широкое распространение получили различные методы их модификации. Для повышения ударной вязкости широкое распространение приобрела модификация эпоксидных полимеров различными каучуками. Однако введение каучуков приводит к значительному снижению теплостойкости и уменьшению модуля упругости и прочности материала, что нежелательно. В последнее время получили распространение термопластичные модификаторы эпоксидных полимеров, добавление которых позволяет существенно повысить прочностные характеристики отвержденных композиций без снижения модуля упругости и температуры стеклования.

В настоящей работе исследовалось влияние теплостойких термопластов: полисульфона, полиэфиримида (ультем 1000), норила, полиариленаэфиркетона и полиэфирсульфона на свойства эпоксидных связующих на основе ЭД-20. В качестве отвердителя использовался диаминодифенилсульфон (ДДС).

Температура стеклования ультема равна 220⁰С, полисульфона – 190⁰С, полиэфирсульфона – 185⁰С, норила – 218⁰С и полиариленаэфиркетона 237⁰С. Можно предположить, что наибольшая теплостойкость и прочность будет получена при использовании полиэфиримида, полиариленаэфиркетона и норила в качестве модификаторов. В то же время полисульфон наиболее широко используется в смесях с эпоксидными полимерами.

Введение термопластов в эпоксидные смолы, существенно увеличивает вязкость полимерной композиции, а, следовательно, ведет к уменьшению подвижности системы, что в свою очередь вызовет замедление реакции отверждения.

При получении композиций на основе эпоксидных полимеров и термопластов сначала растворяют термопласт в эпоксидной смоле. Однако известно, что в процессе отверждения совместимость в системе уменьшается и на определенном этапе происходит выделение полимера в отдельную фазу.

Известно, что применение ДДС позволяет получить связующие с теплостойкостью $\approx 185^{\circ}\text{C}$. Методом ДМА определяли температуру стеклования отвержденных модифицированных композиций ЭД-20-ДДС. На температурных зависимостях тангенса угла механических потерь наблюдаются два максимума, соответствующих температуре стеклования матрицы и модификатора, что также подтверждает то, что в процессе отверждения полимер-модификатор выделяется в отдельную фазу. Максимальная теплостойкость достигается в зависимости от значения T_g модификатора. Если температура стеклования модификатора ниже, чем у полимера – матрицы, то желательно добиваться максимального фазового разделения в процессе отверждения. Если модификатор более теплостоек, чем эпоксиполимер – оптимальным может оказаться получение однофазной системы.