

Радиоактивные «контейнеры» для терапии рака



Главный вызов внутренней радионуклидной терапии — доставить изотоп точно в опухоль, не задевая здоровые ткани, и сделать этот процесс безопасным для персонала и воспроизводимым в промышленных масштабах.

Один из самых перспективных носителей — металл-органические каркасные структуры, пористые материалы с огромной поверхностью и регулируемым размером пор. Однако их применение в ядерной медицине упиралось в отсутствие автоматизированных протоколов маркировки, соответствующих стандартам GMP. Ученые Лаборатории нано- и микроинкапсуляции биологически активных веществ СПбПУ апробировали полностью автоматизированную процедуру получения радиофармпрепарата на основе UiO-66-NH_2 , меченного терапевтическим изотопом радий-223.

Авторы синтезировали две формы носителя — микро- (0,5–1,5 мкм) и наноразмерную (150–350 нм). Обе продемонстрировали стабильность в физиологических растворах и характерную для UiO-66 кристаллическую структуру. Для радиоактивной маркировки разработали трёхкомпонентную систему с соосаждением Ba^{2+} , SO_4^{2-} и $^{223}\text{Ra}^{2+}$ внутри пор МОФ — это

позволило избежать быстрой потери изотопа, характерной для простой физической адсорбции. Затем ручной протокол перенесли в автоматизированную установку с последовательным дозированием реагентов, фильтрацией и сбором готового продукта в защищённой среде. Такой подход решает сразу две задачи: снижает дозовую нагрузку на операторов и обеспечивает воспроизводимость, необходимую для будущего серийного выпуска.

Эффективность загрузки радия составила более 94 %, а удержание изотопа в структуре оставалось выше 93 % в течение 7 дней. Для оценки поведения в организме МОФ дополнительно метили флуоресцентным красителем Cy5 и диагностическим изотопом ^{99m}Tc . На модели 4T1 — агрессивного рака молочной железы — авторы показали, что частицы обоих размеров эффективно проникают в клетки и накапливаются внутри опухоли после интратуморального введения. По данным SPECT-визуализации и прямого радиометрического анализа, доля радиоактивности в здоровых органах не превышала 8–10 %. Флуоресцентная гистология подтвердила локальное распределение носителей в опухолевой ткани.

На терапию $^{223}\text{Ra}@m\text{MOF}$ и $^{223}\text{Ra}@n\text{MOF}$ животные отвечали подавлением роста опухоли на 76 % и 83 % соответственно. При этом гистологический анализ основных органов и биохимические показатели крови (ALT, AST, ALP, креатинин, мочевины) оставались в пределах нормы, что указывает на отсутствие значимой системной токсичности.

В работе сделан вывод, что предложенная автоматизированная платформа впервые позволяет перейти от лабораторных протоколов к масштабируемому производству МОФ-основанных радиофармпрепаратов для внутренней лучевой терапии. Полученные результаты создают основу для дальнейших доклинических исследований и приближают клиническое внедрение таких систем. Исследование поддержано Российским научным фондом и Министерством науки и высшего образования РФ.

Оригинал статьи: [Novel Approach of an Automated Radiolabeling of Micro- and Nanoscale UiO-66 MOFs for Internal Radiotherapy of Breast Cancer. ACS Appl. Mater. Interfaces 2026, 18, 538–552.](#)