

## **НАНОКОМПОЗИТИ МАГНЕТИТУ ДЛЯ МАГНІТНО-РЕЗОНАНСНОЇ ТОМОГРАФІЇ: СИНТЕЗ, ХАРАКТЕРИСТИКА, БІОСУМІСНІСТЬ**

**Микитенко Андрій**  
здобувач вищої освіти  
**Свиридюк Катерина**  
асистент  
Кафедра хімії

Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Магнітно-резонансна томографія (МРТ) є провідним методом візуалізації внутрішніх органів і тканин завдяки високій просторовій роздільності та відсутності іонізуючого випромінювання. Удосконалення МРТ тісно пов'язане з розвитком нових контрастних агентів. Наночастинки оксиду заліза ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) були широко досліджені як нові контрастні агенти для магнітно-резонансної томографії (МРТ) та перспективна альтернатива традиційним сполукам гадолінію завдяки поєднанню сприятливих суперпарамагнітних властивостей, біорозкладності та поверхневих властивостей, що дозволяють легко

модифікуватися для покращення кінетики та багатофункціональності *in vivo*. [1,2]

МРТ використовує сильне магнітне поле, яке вирівнює магнітні моменти протонів у зразку, створюючи рівноважну намагніченість вздовж осі  $z$  ( $M_z$ ) з величиною  $M_0$ . Радіочастотний (РЧ) імпульс на резонансній частоті, здатний передавати енергію протонам та обертає їхні магнітні моменти відносно осі  $z$  синфазно на кут, який називається кутом повороту. Вибір кута повороту залежить від застосованої послідовності візуалізації, але зазвичай він спрямований до поперечної площини (площини  $xy$ ), що призводить до результуючої намагніченості  $M_{xy}$ . Після видалення РЧ магнітні моменти протонів релаксують до рівноважного стану. Час, необхідний для релаксації магнітних моментів до рівноважного стану, який широко називають часом релаксації, залежить від тканини. [3]

Контраст МРТ м'яких тканин зумовлений різницею в щільності протонів, часі спин-граткової релаксації та часі спин-спінової релаксації протонів. Протони, які швидко релаксують, відновлюють повну намагніченість вздовж осі  $z$  та створюють високу інтенсивність сигналу. Для протонів, які релаксують повільніше, повна намагніченість не відновлюється до наступних радіочастотних імпульсів і за своєю суттю створюють менший сигнал і так званий ефект насичення. [4-5]

На магнітні властивості нанорозмірного магнетиту впливають кристалічність та розмір ядра. Крім того, модифікації поверхні, включаючи полімерні покриття та агенти, що впливають на тканини, можуть суттєво впливати на ефективність  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  як контрастних агентів для МРТ, збільшуючи локальну концентрацію  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  у цільовій тканині, одночасно зменшуючи концентрацію у фоновій тканині.

Аналіз літературних джерел дозволяє стверджувати, що існує велика кількість методів синтезу наночастинок  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , серед яких найбільш поширеними є співосадження, термоліз прекурсорів та гідротермальні методи. Для покращення стабільності та біосумісності наночастинок покривають біоінертними або біоактивними оболонками, такими як  $\text{SiO}_2$ , поліетиленгліколь (PEG), декстран, хітозан тощо. [6]

Функціоналізація поверхні дозволяє забезпечити не лише стабільність у фізіологічних середовищах, а й таргетну доставку за допомогою антитіл, лігандів або пептидів. Згідно з численними дослідженнями, такі наноконpozити демонструють високу  $T_2$ -релаксацію, що забезпечує якісне зображення в  $T_2$ -зваженому режимі МРТ.

Біосумісність залежить від розміру, заряду, складу оболонки та умов введення. Публікації відзначають, що при належній поверхневій модифікації наноконpozити  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  не викликають суттєвої цитотоксичності та можуть ефективно виводитися з організму.

### **Список використаних джерел**

1. Synthesis, evaluation, and biocompatibility study of magnetite nano particles in normal cells and cancer cells for health care application / S. Chatterjee та ін. Nano-Structures & Nano-Objects. 2024. Т. 39. С. 101313.
2. Synthesis and Characterization of Magnetite Nanoparticles by Co-precipitation Method Coated with Biocompatible Compounds and Evaluation of In-Vitro Cytotoxicity / H. R. Mohammadi та ін. Toxicology Reports. 2021. Т. 8, вип. 3. С. 331–336.
3. Neamtu J., Verga N. Magnetic Nanoparticles for Magneto-Resonance Imaging and Targeted Drug Delivery. Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures. 2011. Т. 6, вип. 3. С. 969 – 978.
4. Insights into the Effect of Magnetic Confinement on the Performance of Magnetic Nanocomposites in Magnetic Hyperthermia and Magnetic Resonance Imaging / S. Scialla та ін. ACS Applied Nano Materials. 2022. Т. 5, вип. 11. С. 16462–16474.
5. Stephen Z. R., Kievit F. M., Zhang M. Magnetite Nanoparticles for Medical MR Imaging. Published in final edited form as:. 2011. Т. 14, вип. 7. С. 330–338.
6. Multifunctional Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/graphene oxide nanocomposites for magnetic resonance imaging and drug delivery / G. Wang та ін. Materials Chemistry and Physics. 2013. Т. 141. С. 997–1004.