

УДК 621.315.592-022.532]:004.932:61

КВАНТОВІ ТОЧКИ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У МЕДИЧНІЙ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ

Чубукін О. С., Зубенко О. О.

e-mail: oleksandr.chubukin@nure.ua, e-mail: olesia.zubenko@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. Фізики
м. Харків, Україна

Quantum dots (QDs), are nanocrystals with unique optical and electronic properties that can be tuned to make them ideal for medical imaging. They are used in imaging techniques such as fluorescence imaging and magnetic resonance imaging (MRI), where their magnetic properties improve image contrast. In addition, CT scanners can be used in positron emission tomography (PET), which provides highly sensitive data on biological processes. One of the biggest advantages of CT scans is their multifunctionality, which allows for simultaneous diagnosis and treatment, which is the basis of theranostics. This approach reduces treatment costs and increases its effectiveness.

Квантові точки (КТ), також відомі як штучні атоми, являють собою напівпровідникові нанокристали, які демонструють унікальні оптичні та електронні властивості. КТ містять від 100 до 100 000 атомів [1] і проявляють особливі властивості, такі як ніби то вони складаються з одного атома. КТ-це нанорозмірні кристали, які можуть бути синтезовані різними методами [2], що дає змогу контролювати їхній розмір, форму і склад. Перевагами використання квантових точок [3] у медичній візуалізації є їхні оптичні властивості, що налаштовуються, висока фотостабільність, багатофункціональність і сумісність із різними методами візуалізації. Однак для повної реалізації потенціалу КТ у медичній візуалізації необхідно вирішити такі проблеми, як біосумісність, токсичність і стабільність. Чудові властивості КТ зумовлені ефектом квантового утримання [4]. Коли напівпровідникові кристали зменшуються до нанорозмірів, то електрони та дірки виявляються замкнутими в обмеженому просторі, що призводить до появи дискретних енергетичних рівнів. В результаті КТ демонструють спектри випромінювання і поглинання, що залежать від розміру, та мають широкі спектри поглинання і вузькі спектри випромінювання, що переналаштовуються, та які можна регулювати, змінюючи їхній розмір і склад. Квантові точки класифікують за кількома критеріями, а саме – за складом та структурою матеріалу, а також такою властивістю як квантове обмеження. Одним із найпоширеніших методів оптичної візуалізації, де КТ продемонстрували значний потенціал в якості флуоресцентних зондів є флуоресцентна візуалізація. Спектри випромінювання таких зондів переналаштовуються, а високий квантовий вихід і фотостабільність роблять їх ідеальними кандидатами для багатокольорової візуалізації, дозволяючи одночасно виявляти кілька об'єктів з високою чутливістю. Нещодавно було

виявлено, що КТ можуть бути модифіковані для прояву магнітних властивостей, що робить їх придатними для використання як контрастних агентів магнітно-резонансної томографії (МРТ). Завдяки включенню до структури КТ парамагнітних або суперпарамагнітних елементів, таких як гадоліній, марганець або оксид заліза ці наночастинки можуть створювати високий контраст томографічних зображень. МРТ-контрастні речовини на основі КТ мають низку переваг порівняно з традиційними контрастними речовинами. По-перше, вони мають більш високу релаксацію, що дозволяє поліпшити контрастне посилення при нижчих концентраціях. По-друге, магнітні властивості КТ можна налаштовувати, змінюючи їх розмір, склад та форму, що дозволяє адаптувати їх до конкретних вимог візуалізації. Крім того, контрастні речовини на основі КТ можуть бути функціоналізовані біомолекулами, такими як пептиди або антитіла, для отримання цільових зображень конкретних клітинних або молекулярних мішеней. Особливий вид так званих радіомічених квантових точок (РКТ) використовується в позитронно-емісійної томографії (ПЕТ). ПЕТ-це високочутливий метод ядерної візуалізації, що дає змогу отримати кількісну інформацію про біологічні процеси на молекулярному рівні. ПЕТ заснована на детектуванні гамма-випромінювання. Радіомічені квантові точки (КТ) стали агентами для ПЕТ-зображень завдяки притаманним їм перевагам, таким як висока фотостабільність, спектри випромінювання, які можна налаштовувати, і здатність містити в собі кілька радіоізотопів. Комбінуючи ПЕТ-візуалізацію з флуоресцентною візуалізацією на основі QD, дослідники можуть отримати мультимодальну візуалізацію, що дає додаткову інформацію про молекулярні та функціональні процеси. ПЕТ-візуалізація дає змогу отримати високочутливі та кількісні дані про розподіл і кінетику радіомічених трасерів. На відміну від цього, флуоресцентна візуалізація на основі КТ може забезпечити візуалізацію клітинних і субклітинних структур з високою роздільною здатністю в режимі реального часу. Поряд із вищезгаданими методами медичної візуалізації КТ можуть використовуватись в тераностиці - галузі, що об'єднує діагностику і терапію, прокладає шлях до персоналізованої медицини. Цей інноваційний підхід дає змогу одночасно виявляти, контролювати і лікувати захворювання, що в кінцевому підсумку покращує стан пацієнтів і знижує витрати на охорону здоров'я. Тераностичні агенти на основі квантових точок (КТ) привертають велику увагу завдяки своїм унікальним властивостям, таким як флуоресценція, що налаштовується за розміром, висока фотостабільність і універсальна хімія поверхні. КТ можуть бути функціоналізовані цільовими сполуками, такими як антитіла або пептиди, які зв'язують їх із біомаркерами, пов'язаними з хворобою. який цільовий підхід сприяє як точній візуалізації, так і терапії, підвищуючи точність діагностики та ефективність лікування. Наприклад, ракові клітини часто надекспресують специфічні рецептори клітинної поверхні. КТ пов'язані з відповідними

лігандами, можуть вибірково націлюватися на пухлинні тканини і накопичуватися в них, забезпечуючи поліпшену візуалізацію та адресну доставку ліків. Проаналізувавши більшість існуючих видів КТ, які використовуються в якості агентів для медичної візуалізації можна дійти висновку що, порівняно з традиційними агентами для візуалізації перевагами КТ є налаштовувані оптичні властивості, за рахунок керування їх розміром та складом у процесі синтезу, висока фотостабільність і яскравість, а також багатофункціональність. Багатофункціональність КТ дає змогу одночасно виявляти і лікувати захворювання, що робить їх ідеальними тераностичними агентами, які забезпечують візуалізацію процесів захворювання в режимі реального часу і доставляють терапевтичні агенти безпосередньо до об'єкту, що цікавить. Така подвійна функціональність може підвищити точність діагностики, забезпечити раннє втручання і збільшити ефективність лікування, що в кінцевому підсумку призведе до поліпшення стану пацієнтів. Квантові точки (КТ) продемонстрували величезний потенціал для медичної візуалізації завдяки своїм унікальним оптичним властивостям, багатофункціональності та сумісності з різними методами візуалізації. Незважаючи на проблеми, пов'язані з їхньою токсичністю, дослідження, що тривають у цій галузі, вирішують ці питання. У майбутньому ми можемо очікувати продовження розробки та оптимізації КТ для медичної візуалізації з акцентом на біосумісність і цільове застосування в тераностиці. Ці тераностичні агенти дадуть змогу одночасно проводити діагностику і терапію, що в перспективі зробить революцію в лікуванні захворювань.

Список використаних джерел:

1. Jesús Sanmartín-Matalobos. Semiconductor Quantum Dots as Target Analytes: Properties, Surface Chemistry and Detection // *Nanomaterials*. 2022. Vol.12. Issue 14. 2501. <https://doi.org/10.3390/nano12142501>
2. Kushagra Agarwal, Himanshu Rai and Sandip Mondal. Quantum dots: an overview of synthesis, properties, and applications // *Mater.Res.Express*. 2023.Vol.10 062001. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/acda17>
3. Ahmed A H Abdellatif, Mahmoud A Younis. Biomedical Applications of Quantum Dots: Overview, Challenges, and Clinical Potential // *Int J Nanomedicine*. 2022. P.1951–1970. <https://doi.org/10.2147/IJN.S357980>
4. Debasis Bera, Lei Qian, Teng-Kuan Tseng, Paul H Holloway, Quantum Dots and Their Multimodal Applications: A Review // *Materials (Basel)*.2010. P 2260-2345. <https://doi.org/10.3390/ma3042260>