

ІННОВАЦІЙНІ ПЕРСПЕКТИВИ: БІОЧОРНИЛА ТА 4D ДРУК  
У БІОМЕДИЧНІЙ ІНЖЕНЕРІЇСокольцов А. О., аспірант, e-mail: [andrii.sokoltsov@nure.ua](mailto:andrii.sokoltsov@nure.ua)

Науковий керівник д.т.н., проф. Аврунін О. Г.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Зростаючий інтерес до 3D-друку в медицині підтверджується тим, що з 1 липня 2019 року Американським коледжем радіології та Спілкою радіологічного товариства Північної Америки був затверджений Кодекс поточної процедурної термінології Американського медичного товариства, що містить розділ, присвячений 3D-друку. На сьогоднішній день більшість біомедичних структур, надрукованих на 3D-принтері в основному статичні. Для адекватного вирішення динамічного процесу загоєння та регенерації тканин людини 4D-друк стає важливою розробкою, в якій «час» включено до традиційної концепції 3D-друку як четвертий вимір. У методі 4D-друку замість звичайних матеріалів використовують інтелектуальні матеріали, що реагують на стимули (температура, вологість або світло). В результаті формуються конструкції, що самоорганізуються і саморегулюються, здатні змінювати свою форму під впливом зовнішніх подразників [1]. Основою 4D-друку є біочорнила, біосумісні матеріали, які є основою для зростання та диференціювання клітин з метою формування функціональних тканин, що не лише створюють каркас, а також відповідають на біостимули та здатні змінюватися в умовах розвитку організму. Біочорнила для 3D-друку в медицині часто ґрунтуються на гідрогелях, які є високогідратованими полімерними ланцюжками імітують нативний позаклітинний матрикс. Однак, лише використання гідрогелів може ускладнити створення великих тканинних структур з будь-якою формою через обмежену структурну цілісність і складнощі друку. Інші методи використовують гібридні каркаси з різних матеріалів, такі як полімолочна гліколева кислота, полімолочна кислота або полікапролактон. Ці каркаси можуть мати хондро- або остеокондуктивні властивості, використовуючи наприклад колаген та гіалуронову кислоту. Гідрогелі досліджувалися широко в регенеративній медицині через їхню подібність до позаклітинного матриксу і високу проникність для поживних речовин. Також, завдяки своїй пористій будові, вони дозволяють клітинам мігрувати та проліферувати у тривимірному режимі. Природні полімери, такі як желатин, альгінат, колаген, гіалуронова кислота, фібрин та целюлоза, біосумісні, але мають варіабельність та потенційну імуногенність. Синтетичні гідрогелі, такі як поліетиленгліколь і плуронік, широко використовуються, оскільки мають більш відтворювані властивості, але можуть бути адаптовані до потреб за допомогою молекулярної маси, міцності та інших характеристик. Найпоширенішими методами 3D-друку в медицині є мікроекструзія, краплинний та лазерний 3D-друк, кожен з яких має свої переваги та недоліки, такі як в'язкість біочорнил, роздільна здатність та швидкість друку [2,3].

Основні виклики та можливості розвитку в галузі біодруку включають відсутність біочорнил з необхідними властивостями для підтримки клітинної проліферації та диференціації, складність створення функціональних структур, схожих на нативні тканини. Розв'язання цих проблем потребує мультидисциплінарного підходу, що сприятиме досягненню значного прогресу в методах 3D-біодруку та подальшому розвитку.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Lui YS et al. 4D printing and stimuli-responsive materials in biomedical aspects. *Acta Biomater.* 2019 Jul 1;92:19-36. doi: 10.1016/j.actbio.2019.05.005. Epub 2019 May 6. PMID: 31071476.
2. Gryshkov O.P. Experience of development and use of specialized software intended for automated analysis of alginate structures / O. P. Gryshkov, M. Y. Tymkovych, O. G. Avrunin, Brigit Glasmacher // *Матеріали 23 Міжнародного молодіжного форуму*. Т. 1. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – С. 128-129.
3. Riccardo Gottardi. (2020) Advances in bioprinting: a toolbox for tissue engineering. *Connective Tissue Research* 61:2, P. 115-116.