

УДК 616-77:616-74

Андріюк В.Р. студентка спеціальності 132 Матеріалознавство
 Науковий керівник: Лінник О.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри механічної та біомедичної інженерії
 (Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ СИНТЕТИЧНИХ ПОЛІМЕРІВ ДЛЯ FDM-БІОПРИНТИНГУ

3D-біодрук - це інноваційна технологія адитивного виробництва біоматеріалів, що має особливі перспективи в медицині та фармації. Наразі вона є лідером у розробці штучних багатоклітинних структур. Наразі в 3D-біодруку існує велике різноманіття біоматеріалів та методів, що використовуються (рис.1) [1].

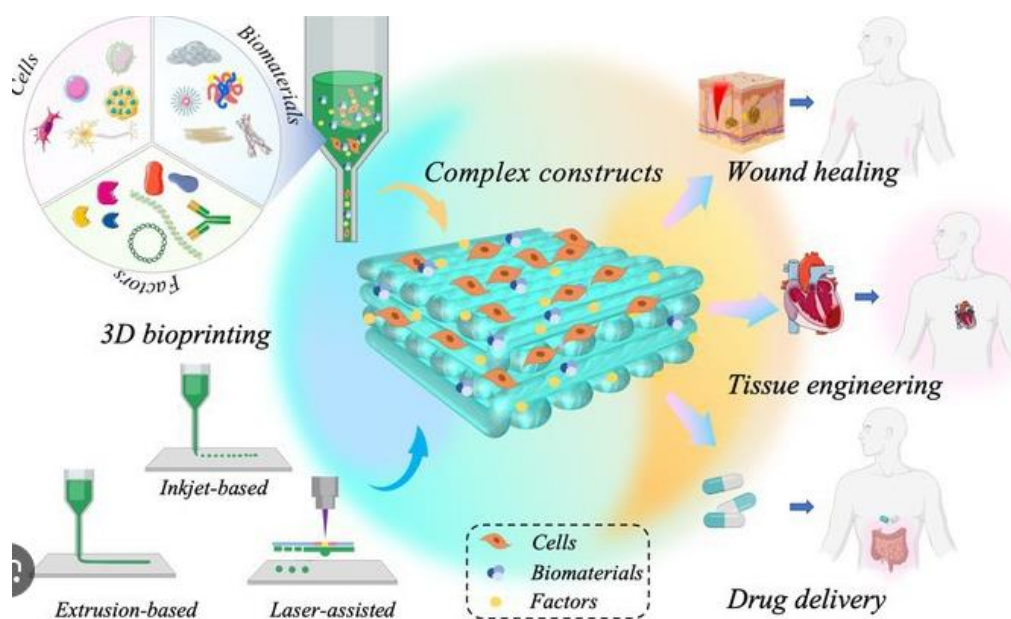


Рисунок 1 –3D біодрук та його застосування в біомедичних галузях

Технологія 3D-біодруку за методом пошарового наплавлення (Fused Deposition Modeling, FDM) — це сучасний підхід, що дозволяє створювати біологічні та біосумісні конструкції для потреб біомедицини та тканинної інженерії. Метод FDM базується на пошаровому формуванні структур шляхом екструзії розплавлених матеріалів, зокрема термопластичних полімерів, які формують тривимірну модель на основі комп'ютерного проєкту [2]. Така технологія дає змогу виготовляти складні геометричні форми з високим рівнем деталізації, що особливо цінно для медичних застосувань, де потрібно враховувати анатомічні особливості кожного пацієнта.

FDM пропонує декілька значних переваг для тканинної інженерії. По-перше, це висока швидкість друку та відносна простота обладнання, що робить його доступним для дослідницьких лабораторій і медичних закладів. По-друге, метод забезпечує хорошу механічну стабільність друківаних виробів, а також дозволяє досягти високої точності друку. З іншого боку, FDM має певні обмеження, які обумовлені термічними навантаженнями на клітинні структури та матеріали під час друку. Наприклад, для забезпечення належної екструзії полімеру потрібна підвищена температура, що може знижувати життєздатність клітин у випадку прямого контакту з біочорнилами.

Для успішного використання технології FDM у 3D-біодруці необхідні матеріали, що забезпечують високу біосумісність, контрольовану швидкість деградації та достатню механічну міцність [3]. Основними біоматеріалами, що використовуються в FDM, є синтетичні полімери, такі як полілактид (PLA), полікапролактон (PCL), полівініловий спирт (PVA), акрилонітрил-бутадієн-стирол (ABS) та поліетиленгліколь (PEG) [2]. Кожен з цих матеріалів має свої унікальні властивості, які роблять їх придатними для конкретних біомедичних застосувань (табл.1). Ці властивості забезпечують можливість створення тимчасових імплантатів і каркасів для регенерації тканин, що є надзвичайно важливим у сучасній ортопедії, кардіології, стоматології та інших галузях медицини.

Таблиця 1

Аналіз синтетичних полімерних матеріалів для FDM-біодруку

Матеріал	Переваги	Недоліки	Сфери застосування
PLA	біорозкладний біосумісний термопластичний низька температура плавлення відносно висока механічна міцність стабільне та рівномірне формування шарів	крихкість низька ударостійкість метаболіти можуть спричиняти місцеве запалення тканин	імплантати та ортопедичні вироби, що з часом розкладаються каркаси для тканинної інженерії (кістки, хрящі)
PCL	висока стабільність, біосумісність, гнучкість тривала біологічна напіврозпадність пориста структуру	гідрофобний, що обмежує клітинну адгезію та ріст на поверхні	довготривалі кісткові імплантати та каркаси
PVA	водорозчинний висока біосумісність висока хімічна стабільність, гнучкість і еластичність	водорозчинність ускладнює контроль за розпадом матеріалу, обмежена міцність	розчинні імплантати, які розкладаються після завершення загоєння тканин, тимчасові каркаси для росту хрящів
ABS	висока термостійкість, стійкість до механічних навантажень, легко обробляється	не є біорозкладним, токсичні пари під час друку	Створення високоточних прототипів, анатомічних моделей та навчальних матеріалів
PEG	висока біосумісність, гідрофільний, може утримувати велику кількість води, легко модифікується	низька механічна міцність, обмежена біологічна активність, повільний розпад	доставка лікарських засобів, створення матриць для клітинної терапії, гідрогеліві структури для клітинного росту

Висновки

Вибір біоматеріалу для 3D-друку методом FDM залежить від конкретних потреб біомедичних застосувань. Полілактид (PLA) та полікапролактон (PCL) є найбільш підходящими для тканинної інженерії завдяки своїй біосумісності та біорозкладності. Полівініловий спирт (PVA) та поліетиленгліколь (PEG) забезпечують високу гнучкість та гідрофільність, що ідеально підходить для м'яких тканин та клітинної підтримки, але потребують покращення у сфері механічної міцності. Акрилонітрил-бутадієн-стирол (ABS) забезпечує міцність та стабільність, проте через відсутність біорозкладності його використання обмежене.

Комбінація цих матеріалів у формі багат шарових структур чи гібридних біочорнил може сприяти розширенню можливостей 3D-друку в медичних дослідженнях і клінічних застосуваннях, відкриваючи нові горизонти для персоналізованої медицини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. H. Vanaei, M. Shirinbayan, M. Deligant, *et al.* Influence of process parameters on thermal and mechanical properties of polylactic acid fabricated by fused filament fabrication Polym. Eng. Sci., 60 (2020), pp. 1822-1831 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://4spepublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pen.25419>
2. M. Guvendiren, J. Molde, R.M. Soares, J. Kohn Designing biomaterials for 3D printing ACS Biomater. Sci. Eng., 2 (10) (2016), pp. 1679-1693 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ACSBIOMATERIALS.6B00121>
3. M.C. Sobieraj, C.M. Rimnac Fracture, fatigue, and notch behavior of PEEK PEEK Biomaterials Handbook, Elsevier (2019), pp. 67-82 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128125243000053>