

## **ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ СКАФФОЛДІВ ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦІЇ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ**

*Байрамов Емін Салех Огли*

*Науковий керівник – Саввова О.В., д-р техн. наук, професор*

Лікування дефектів кісткових тканин, отриманих в наслідок механічних травм, вроджених аномалій або хірургічних втручань, продовжує залишатися актуальною медичною та соціальною проблемою. В даний час дана проблема вирішується виробництвом індивідуальних імплантатів з додаванням біоактивних речовин на основі скаффолдів (каркасних структур) з синтетичних біорезорбуючих матеріалів, які заселяються аутологічними стовбуровими клітинами пацієнта, внаслідок чого з великою точністю за структурними і біомеханічними особливостями відповідають ушкодженій ділянці, а також не мають імунологічного відторгнення.

Скаффолди отримують на основі матеріалів, які широко застосовуються в кістковому протезуванні. Виділяють чотири покоління матеріалів для трансплантації кістки. Кісткові трансплантати першого покоління, метали і сплави, мають відмінні механічні властивості, але не біоактивними і не резорбуються. Тривалість життя цих трансплантатів обмежена, і, отже, їх необхідно видаляти і замінювати хірургічним шляхом. До матеріалів другого покоління відносять біоактивну кераміку і полімери, що розсмоктуються. Полімерні скаффолди не мають достатньої біологічної активності і необхідних механічних властивостей, в той час як керамічні скаффолди на основі фосфатів кальцію крихкі, тому їх можна було використовувати при великих навантаженнях, на основі тугоплавких оксидів – є біоінертними. Трансплантати третього покоління представлені композитними скаффолдами, які поєднують в собі міцність, жорсткість остеокондуктивних кераміки з гнучкістю і здатністю до резорбції полімерів. Трансплантати четвертого покоління представляють собою полімер-керамічні композитні скаффолди з включенням остеогенних клітин, чинників росту або кісткових морфогенетичних білків окремо або разом.

Виробництво сучасних біокомпозитних скаффолдів являє собою складний процес, що враховує багато критеріїв – біосумісність і низьку імуногенність, механічну міцність, контрольовану біорезорбцію, остеокондуктивні, остеоіндуктивні, певні поверхневі властивості, пористість і особливо васкуляризацію.

Найбільш перспективною процедурою лікування таких дефектів є 3D-друк каркасів завдяки її здатності виготовляти індивідуальні кар-

каси із заданою геометрією, контрольованими хімічними і механічними характеристиками. Для вирощування кісткових тканин використовують міцні синтетичні полімери типу Polycaprolactone (PCL) і природні мінерали, такі як hydroxyapatite (HA). Вони мають високу біосумісність, високі механічні властивості, регульовану біодеградацію і легко адаптуються до 3D-друку. Зокрема, гідроксиапатит (HA) успішно використовується при друку протезів суглобів та зубних імплантатів завдяки їх високій біоактивності, що забезпечує успішну остеоінтеграцію.

Чорнило з кераміки для друку можна умовно розділити на три групи:

- на основі фосфатів кальцію,
- на основі силікатів кальцію,
- на основі біоактивного скла (наприклад, боросилікатне скло),
- на основі біоактивної склокераміки.

Біоактивна склокераміка представляє особливу цінність завдяки одночасному забезпеченню високих міцносних властивостей та здатності до резорбції

Для моделювання кісти на основі 3D-друку в даний час успішно використовуються такі полімерно-мінеральні композити, як PCL (полімолочна кислота)-TCP (трикальційфосфат),-PLGA (полі молочно-гліколева кислота)-TCP-HA, PCL-PLGA-TCP, PLGA-PCL, желатин з HA.

На сьогодні піонер і світовий лідер в області 3D-друку кераміки 3DCeram (Франція). використовує технологію 3D-друку SLA більш ніж на 10 років для виготовлення на замовлення кісткових імплантатів (міжпозвоноквої кейджи та остеомічні-берцові кліні), а також черепні імплантати. Відомий Український стартап Kwambio, який виробляє 3D-принтери, спільно з фондом WeFund Ventures представив проєкт з друку людських кісток та органів Adam. Спеціально для проєкту розроблені нові матеріали. Одним з них є модифікований біополімер на основі полікапролактону з добавкою гідроксиапатиту, який має високу міцність і біосорбцію. Інший матеріал – керамічне біоскло на основі гідроксиапатиту і боросилікатного скла, яке здатне реагувати з кістковою тканиною для ефективного сполучення з імплантатом і стимулювання остеогенезу. Дефекти кісток людини, які виконують захисні і скелетні функції (кістки черепа, верхньої та нижньої щелеп), можна протезувати за допомогою біоактивних склокристалічних імплантатів, а модифікований біополімер може використовуватися для дефектів трубчастих кісток.