

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРИСТИХ КІСТКОВИХ ЗАМІННИКІВ НА ОСНОВІ ГІДРОКСИПАТИТУ

Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна

Анотація

Досліджено процеси біомінералізації кальцій-фосфатних матеріалів, механізми регуляції процесів кристалізації, а також властивості, які відповідальні за контрольовану доставку дозованої кількості протизапальних лікарських препаратів в дефектну зону кісткової тканини.

Ключові слова: інженерія кісткової тканини, 3D-друкований кістковий замітник, гідроксиапатит.

Вступ

Кальцій-фосфатна біокераміка на основі гідроксиапатиту (НА) широко використовується як матеріал для регенерації кісткової тканини [1]. Пористість є важливою вимогою до кісткових заміників, оскільки архітектура пор впливає на ефективність посіву клітин, життєздатність клітин, міграцію, морфологію, клітинну проліферацію, клітинну диференціацію, ангиогенез, механічну міцність скелетів і, зрештою, формування кістки [2]. Метою цього дослідження було оцінити вплив трьох факторів (швидкість спікання, час перемішування та концентрація гідроксиапатиту) на пористість, міцність на стиск та кристалічність пористих тіл.

Результати дослідження

Процес синтезу гідроксиапатит (НА) включає наступне: змішування трьох розчинів ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$; $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$; NH_4OH) у термостаті (скляна колба, $V = 35$ мл) при температурах ($50^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C}$) та витримування при заданій температурі не менше 10 хвилини. Формування твердого гідроксиапатиту включає дві стадії: осадження з розчину (утворення твердої фази); кристалізація (утворення далекого порядку) твердої фази. Співвідношення швидкостей цих стадій визначає кристалічність вихідного продукту, наприклад, його кристалічність. Співвідношення можна скорегувати варіацією перенасичення, часом кристалізації (залежність від співвідношення об'єму колби і інтенсивності подачі речовини) і температурою. При високій швидкості потоку (60 мл/хв) і низькій температурі (50°C) відбувається швидке осадження без кристалізації (середній час осадження = $35 \text{ мл}/60 \text{ мл хв}^{-1} = 35 \text{ с}$). при швидкості потоку 30 мл/хв, середній час осадження-кристалізації дорівнює 70 с і продукт має певну кристалічність, а якщо при цих же умовах підняти температуру реакції до 60°C , то на виході будемо мати високо-кристалічний апатит, про що свідчать XRD і FTIR вимірювання. Спікання проводилося при 1200°C протягом 1 години. Досліджувався вплив трьох факторів (швидкість спікання, час перемішування та концентрація гідроксиапатиту) на пористість, міцність на стиск та кристалічність пористих тіл. Для оцінки швидкості спікання, порівнювали зразки 1 та 2. Концентрацію гідроксиапатиту та час перемішування підтримували сталими, коли швидкість спікання змінювалась. Розміри і маса всіх зразків вимірювалися до і після термообробки (Таблиця 1).

Таблиця 1 Умови отримання пористого НА.

Зразок	Вода (г)	Концентрація (мас.%)	ГА	Час перемішування	Швидкість спікання
Sample 1	15,7	44		20	$25^\circ\text{C}/\text{хв}$
Sample 2	15,7	44		20	$220^\circ\text{C}/\text{год}$

Встановлено, що зразок 1 має вищу середню видиму щільність, міцність на стиск та модуль Юнга, тоді як середня пористість була нижчою. Середня міцність на стиск для зразка 1 становила 10 МПа, середня видима щільність - 2,03 г/см³, середня пористість - 35,9%. У експерименті було встановлено, що більш високий показник швидкості спікання призводить до вищої видимої щільності і вищої міцності на стиск (Рис. 1).

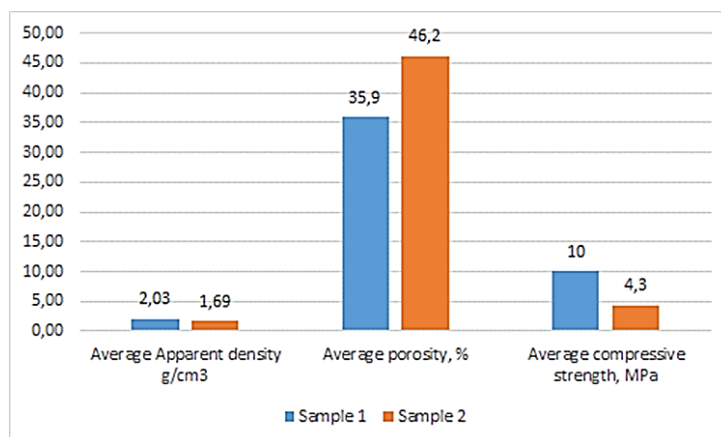


Рис. 1. Середня видима щільність, міцність на стиск і пористість зразків

Висновки

На сьогодні існує велика потреба у біоматеріалах для відновлення кісткової тканини, яка обумовлена, з одного боку, збільшенням рівню побутових та виробничих травм, військових дій та терористичного травматизму, а з іншого – впровадженням нових сучасних методів лікування і протезування у травматичній хірургії, онкології, черепно-щелепній хірургії, стоматології, тощо. Досліджено структуровані гібридні матеріали на основі синтетичного кальцій дефіцитного гідроксиапатиту з метою їх подальшого використання в якості скаффолдів кістковоутворюючих клітин, а також для контрольованої доставки дозованої кількості протизапальних лікарських препаратів в дефектну зону кісткової тканини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. El-Fiqi, A. Three-dimensional printing of biomaterials for bone tissue engineering: a review/ A. El-Fiqi, Front. Mater. Sci. 2023, 17, 230644.
2. Sari, M., Hening, P., Chotimah et al. Bioceramic hydroxyapatite-based scaffold with a porous structure using honeycomb as a natural polymeric Porogen for bone tissue engineering. Biomater Res. 2021, 25, 2.
3. Субмікронні та нанорозмірні структури електроніки / [З. Готра, І. Григорчак, С. Павлов та ін.]. - Чернівці : Технологічний Центр, 2014. – 839 с.
4. Information Technology in Medical Diagnostics //Waldemar Wójcik, Andrzej Smolarz, July 11, 2017 by CRC Press - 210 Pages.

Прокопович Ігор Валентинович — д.т.н., професор, директор інституту медичної інженерії, Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна, e-mail: igor.prokopovich@gmail.com

Дядюра Костянтин Олександрович — д.т.н., професор, кафедра біомедичної інженерії, Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна, e-mail: dyadyura.k.o@op.edu.ua

Study of mechanical properties of porous bone substitutes based on hydroxyapatite

Abstract. The processes of biomineralization of calcium-phosphate materials, the mechanisms of regulation of crystallization processes, as well as the properties responsible for the controlled delivery of a dosed amount of anti-inflammatory drugs to the defective area of bone tissue were studied..

Keywords: bone tissue engineering, 3D printed scaffold, hydroxyapatite.

Prokopovich, Igor V. — doctor of technical sciences, professor, director of the Institute of Medical Engineering, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine, e-mail: igor.prokopovich@gmail.com

Dyadyura Kostiantyn O. — doctor of technical sciences, professor, Department of Biomedical Engineering, Odessa Polytechnic National University/Ukraine, e-mail: dyadyura.k.o@op.edu.ua