

Л. Г. Коваль
А. О. Пастушенко
О. О. Сидорук
Д. Л. Коваль

МЕТОДИ 3D ДРУКУ В РЕАБІЛІТАЦІЙНІЙ МЕДИЦИНІ: ПЕРСОНАЛІЗАЦІЯ, БІОІНТЕГРАЦІЯ ТА ОРТОРЕГЕНЕРАЦІЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Технології адитивного виробництва (3D-друк) революціонізують реабілітаційну медицину, забезпечуючи високоточне та індивідуалізоване виготовлення протезів, ортезів та хірургічних шаблонів. Тези аналізують ключові методи (FDM, SLA, 3DBP) та матеріали (TPU, PEEK, біочорнила), їхні переваги у скороченні циклу виробництва та підвищенні комфорту пацієнтів, а також визначають перспективи біодруку для орторегенерації складних кістково-хрящових дефектів. Особлива увага приділяється викликам масштабування біоконструкцій та інтеграції сенсорних систем у біонічні протези.

Ключові слова: 3D-друк, реабілітаційна медицина, протезування, ортезування, FDM, біодрук, орторегенерація, біосумісні полімери.

Abstract

Additive manufacturing technologies (3D printing) are revolutionizing rehabilitation medicine, enabling highly accurate and customized fabrication of prostheses, orthoses, and surgical templates. The abstracts analyze key methods (FDM, SLA, 3DBP) and materials (TPU, PEEK, bioink), their advantages in reducing production cycles and increasing patient comfort, and identify the prospects for bioprinting for orthoregeneration of complex osteochondral defects. Special attention is paid to the challenges of scaling bioconstructs and integrating sensor systems into bionic prostheses.

Keywords: 3D printing, rehabilitation medicine, prosthetics, orthotics, FDM, bioprinting, orthoregeneration, biocompatible polymers.

Вступ

Сучасна реабілітаційна медицина вимагає створення виробів, що максимально відповідають унікальній анатомії пацієнта. Традиційні методи часто не можуть забезпечити необхідної точності та швидкості. Адитивне виробництво (3D-друк) пропонує вирішення цих проблем, використовуючи цифрові дані (КТ, МРТ) для створення високоперсоналізованих функціональних пристроїв.

Методи 3D друку

Вибір методу друку визначається кінцевою функціональністю. Для гнучких ортезів (AFO) та зовнішніх оболонок протезів широко використовується екструзійне моделювання (FDM) з матеріалами типу TPU або Nylon, які демонструють високу міцність та гнучкість [1]. Для високоточних хірургічних шаблонів та стоматологічних виробів перевага надається фотополімеризаційним методам (SLA/DLP), що забезпечують високу роздільну здатність. Для критично важливих імплантатів, таких як ендопротези, використовуються біосумісні полімери, як-от поліефіркетон (PEEK), механічні властивості якого близькі до кісткової тканини [2].

Орторегенерація та біодрук (3DBP)

Найбільш перспективним напрямом є 3D-біодрук, спрямований на відновлення великих або складних кістково-хрящових дефектів. Технологія 3DBP дозволяє поєднувати клітинно-навантажені гідрогелі (біочорнила) з механічно міцними синтетичними матеріалами для створення функціональних каркасів [3]. Хоча доклінічні дослідження підтверджують ефективність інтеграції таких конструкцій у навколишні тканини, основні виклики полягають у масштабуванні складних структур та забезпеченні їхньої довготривалої життєздатності та функціональності в умовах навантаження [4].

Клінічна ефективність та перспективи

Доведено, що 3D-друковані ортези забезпечують більшу комфортність та мобільність, підвищуючи мотивацію пацієнтів до реабілітації. Впровадження індивідуалізованих рішень, що включають інтеграцію сенсорів у біонічні протези, значно покращує функціональність та інтеграцію пристрою з нервовою системою пацієнта. Подальші дослідження мають бути зосереджені на стандартизації процесів біодруку та довготривалому клінічному моніторингу новітніх біосумісних імплантатів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Atallah, H., Qufabz, T., Bakhsh, H. R., Ferriero, G. The current state of 3D-printed orthoses clinical outcomes: a systematic review. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 2025. 26 (1). 822.
2. Alqutaibi, A. Y., Alghauli, M. A., Algabri, R. S., et al. Applications, modifications, and manufacturing of polyetheretherketone (PEEK) in dental implantology: A comprehensive critical review. *International Materials Reviews*, 2025. 70 (2). P. 103-136.
3. Kumar, M., Varshney, A., Taufik, M. Hand prosthetics fabrication using additive manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 2024. 115. P. 36-45.
4. Yoon, G., Kim, S. J., Jang, J. Multidisciplinary Approaches to Address Resolution, Scalability, and Geometric Constraints in Bioprinting. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 2025. P. 1-28. <https://doi.org/10.1007/s12541-025-01362-y>

Коваль Леонід Григорович – к.т.н., доцент, завідувач кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: koval.l@vntu.edu.ua

Пастушенко Антон Олександрович – аспірант гр. 163-22а, кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Сидорук Олег Олександрович – аспірант гр. 163-23а, кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Коваль Дмитро Леонідович – ст. гр. БМІ-25б, кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Koval Leonid H. – Ph.D., Associate Professor, Head of the department of biomedical engineering and optical-electronic systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. email: koval.l@vntu.edu.ua

Pastushenko Anton O. – graduate student gr 163-22a, department of biomedical engineering and optical-electronic systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Sydoruk Oleh O. – graduate student gr 163-23a, department of biomedical engineering and optical-electronic systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Koval Dmytro L. – student gr. BMI-25b, department of biomedical engineering and optical-electronic systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.