

УДК 616.728.2-089.22:546.41.135

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872026196-100>

Клінічне спостереження використання кісткового цементу на основі трикальційфосфату, посиленого голчастими кристалами гідроксилапатиту

В. А. Філіпенко¹, К. С. Іванчук²

¹ ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України», Харків

² Інститут ортопедії та травматології Національної академії медичних наук України, Київ

The study and implementation of biomaterials for reconstructive orthopedic interventions remain a key focus of modern biomaterials science. Calcium phosphate ceramics are notable for their high biocompatibility, osteoconductive properties, and biodegradability. Developing materials capable of adapting to the shape of bone defects is particularly relevant. Objective. To evaluate the effectiveness of a metastable tricalcium phosphate cement reinforced with needle-shaped hydroxyapatite crystals for filling cavity defects in the acetabulum during total hip arthroplasty. Methods. A clinical case of a 52-year-old patient with stage IV coxarthrosis and acetabular cystic defects is presented. Following marginal cyst resection, the cement was applied to the cavity prior to implantation of an uncemented acetabular cup. Postoperative follow-up was performed on days 7 and 30 using radiography and multislice CT. Results. The postoperative course was uneventful. On day 7, the cavity was fully filled with cement; by day 30, multiple bone trabeculae had formed within the material, with density similar to native bone. Prosthesis fixation remained stable, without cement migration or aseptic demarcation. Conclusions. The use of calcium phosphate cement with a paste-like consistency reinforced with needle-shaped hydroxyapatite crystals allows complete defect filling, promotes bone-cement complex formation, and provides stable prosthesis fixation in the early postoperative period. Further studies with longer follow-up are required to assess long-term outcomes and material resorption. Keywords. Hip joint, bone defects, bone cement.

Дослідження біоматеріалів для реконструктивно-відновних втручань в ортопедії залишається актуальним напрямом сучасного біоматеріалознавства. Особливу увагу привертають кальцій-фосфатні кераміки, які мають високу біосумісність, остеокондуктивні властивості та здатність до біодеградації. Актуальною є розробка матеріалів, здатних адаптуватися до форми порожнинних дефектів кісток. Мета. Оцінити ефективність метастабільного цементу на основі трикальційфосфату, посиленого голчастими кристалами гідроксилапатиту, для заповнення порожнинних дефектів кульшової западини під час тотального ендопротезування. Методи. Наведено клінічний приклад 52-річного пацієнта з коксартрозом IV ст. і кістами, локалізованими в кульшовій западині. Після пристінкової резекції кіст цемент пломбували в порожнину перед установкою безцементної чашки ендопротеза. Динамічне спостереження проводили на 7-му та 30-ту добу післяопераційного періоду зі застосуванням рентгенографії та МСКТ. Результати. Післяопераційний період проходив без ускладнень. На 7-му добу порожнина була заповнена цементом, на 30-ту добу візуалізували численні кісткові балки, що проростали в матеріал, із щільністю, подібною до кісткової тканини. Фіксація ендопротеза залишалася стабільною, ознак міграції цементу чи асептичного розмежування не зафіксовано. Висновки. Використання кальцій-фосфатного цементу з пастоподібною консистенцією та голчастими кристалами гідроксилапатиту забезпечує повноцінне заповнення дефекту, сприяє формуванню кістково-цементного комплексу та створює умови для стабільної фіксації компонентів ендопротеза в ранньому післяопераційному періоді. Подальші дослідження з тривалішим спостереженням дозволять оцінити віддалені результати та резорбцію матеріалу.

Ключові слова. Кульшовий суглоб, дефекти кісткової тканини, кістковий цемент

© Філіпенко В. А., Іванчук К. С., 2026

Вступ

Дослідження та впровадження в практику біоматеріалів для реконструктивно-відновних втручань в ортопедичній галузі залишається одним із ключових напрямів сучасного біоматеріалознавства [1, 2]. Особливу увагу привертають кальцій-фосфатні кераміки, які характеризуються високою біосумісністю, хімічною спорідненістю з кістковою тканиною, здатністю до біодеградації, а також вираженими остеоіндуктивними й остеоінтегративними властивостями. З огляду на різноманітність конфігурацій і розмірів порожнинних дефектів кісток, які виникають унаслідок захворювання чи під час виконання операцій, актуальним є пошук матеріалів, здатних адаптуватися до форми утвореного дефекту [3, 4]. Водночас остаточно не визначено оптимальний склад керамічних матеріалів, який би забезпечував необхідні механічні характеристики без втрати біорезорбтивних властивостей. У цій роботі наведено клінічний приклад використання кальцій-фосфатного біоматеріалу, розробленого на фізичному факультеті Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна [5], для заміщення порожнинного дефекту кульшової западини під час ендопротезування кульшового суглоба. Клінічну апробацію здійснено після ретельного експериментального дослідження на щурах, результати яких свідчать про перспективність застосування цього біоматеріалу в ортопедичній практиці [26].

Мета: дослідити можливість використання метастабільного цементу на основі трикальційфосфату, посиленого голками гідроксилапатиту як матеріалу для заповнення порожнинних дефектів кісткової тканини.

Матеріал і методи

Дослідження схвалено локальним комітетом із біоетики (засідання при ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» від 03.08.2023 р. № 234).

Пацієнт В., чоловік 52 р., звернувся зі скаргами на біль, дискомфорт під час ходи й у спокої, кульгавість, обмеження обсягу рухів у кульшовому суглобі. Хворіє не менше ніж 5 років, лікувався консервативно з нетривалим поліпшенням. Загострення больового синдрому відбувалося 2–3 рази на рік. Під час клініко-рентгенологічного обстеження виявлено ознаки коксартрозу IV ст. Зафіксовано масивну кісту верхньо-пере-

дної стінки кульшової западини (рис. 1). Супутня патологія відсутня.

На прицільній рентгенограмі правого кульшового суглоба в прямій та боковій проекціях у субхондральній зоні, переважно даху кульшової западини та верхнього відділу головки стегнової кістки, відмічається кістоподібна перебудова (у субхондральній зоні максимальний діаметр кісти даху кульшової западини — до 13 мм, головки стегнової кістки — до 8 мм; на рівні деяких кіст замикальної пластинки — значно потоншені). Діагностовано рентген-ознаки правобічного коксартрозу IV ст. із вираженою кістоподібною перебудовою.

Сплановано операцію з тотального ендопротезування кульшового суглоба безцементною конструкцією. Наявність вказаних дефектів кісткової тканини може впливати на вторинну стабілізацію чашки ендопротеза, яка виникає за рахунок вrostання кісткових балочок у пори зовнішньої поверхні. Для досягнення повноцінної вторинної стабільності чашки вирішено, що доцільним є виконання пристінкової резекції кісти верхньо-передньої стінки кульшової западини та заміщення утвореного дефекту.

Матеріалом для заміщення дефекту кульшової западини обрано синтетичну, кальцій-фосфатну біокераміку — гідроксилапатит ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) і трикальційфосфат (ТКФ ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)) саме через свою безпечність та ефективність [7]. Кістковий цемент на основі ТКФ посилений голчастими кристалами ГА.

Дослідженням залежності змін компресійної міцності цементу від кількості голкоподібних кристалів гідроксилапатит виявлено, що вона підвищується пропорційно їхній кількості.

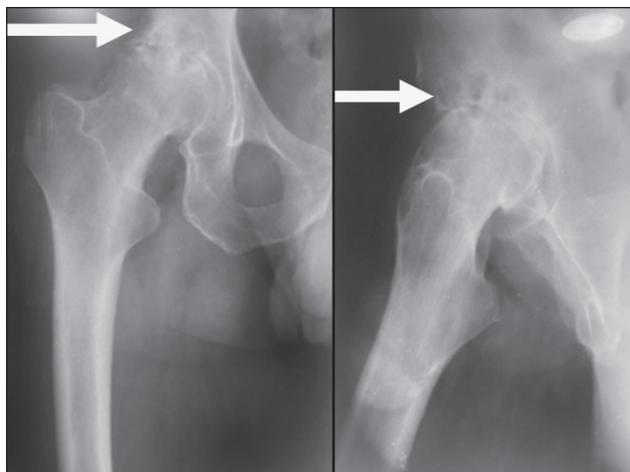


Рис. 1. Фотовідбитки рентгенограми правого кульшового суглоба (відмічено кісти кульшової западини).

За 4 % м/м досягає максимальних показників у середньому значенні 5,5 МПа [25]. Час повноцінного застигання КФЦ, зазвичай, становить кілька десятків хвилин. Як рідку фазу для приготування цементу застосовували 2,5 % розчин гідрофосфату натрію (Na_2HPO_4), який додавали в порцію порошку α' -ТКФ, що забезпечувало співвідношення тверда/рідка фаза = 1/1,25. Безпосередньо перед використанням у рідку фазу додавали 4 % м/м голкоподібних кристалів гідроксилапатиту, які отримували шляхом гідротермального синтезу за оригінальною технологією ($T = 235^\circ\text{C}$, $p = 20$ атм, $t = 1$ год.) [8].

Далі масу ретельно перемішували шпателем до отримання однорідної пасти та витримували її 3–5 хв [5]. Через 2 хв після початку змішування — утворюється пастоподібної консистенції суміш, яка з плином часу твердіє, набуваючи форми. Отриманою пастою пломбували кістковий дефект, ущільнюючи нові порції шпателем, до повного заповнення.

Після обробки кульшової западини фрезами до потрібного розміру було візуалізовано кістку верхньо-передньої стінки (рис. 2). За допомогою ложки виконано пристінкову резекцію, розміри утвореної порожнини $2 \times 2,5 \times 3$ см.

Після ретельного гемостазу підготовлено порцію цементу, достатню для заповнення дефекту: використано 15 г цементу та відповідну кількість рідини, посиленої голками ГА. Після заповнення кістковим цементом порожнини встановлено чашку й інші компоненти ендопротеза.

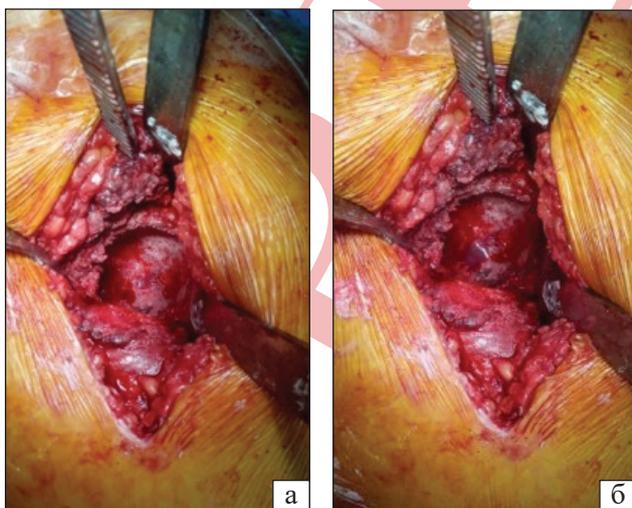


Рис. 2. Інтраопераційне фото. Кіста верхньої стінки кульшової западини: а) до і б) після заповнення

Результати та їх обговорення

У післяопераційному періоді ускладнень не виявлено. Пацієнт обстежувався в динаміці на 7-му та 30-ту добу після оперативного втручання.

Медикаментозне забезпечення в післяопераційному періоді було за стандартною схемою ведення пацієнтів після первинного ендопротезування: здійснено профілактику тромбоемболічних ускладнень і антибіотикотерапію інфекційних ускладнень; перші 3 доби перев'язки виконувалися щоденно. На 2-гу добу видалено дренаж. Післяопераційна рана загоїлася первинним натягом. Режим активізації пацієнта проходив без особливостей: хворого навчено ходи наступної доби після втручання з дозованим навантаженням (40 % від маси тіла), використовуючи милиці як додаткову опору. Виконувалася лікувальна фізкультура для м'язів нижніх кінцівок та програма курсу післяопераційного відновлення з реабілітологом.

7-ма доба після операції. Спостерігалися рентген-ознаки стану після ендопротезування правого кульшового суглоба; кіста в латеральному відділі субхондральної зони даху кульшової западини заповнена пластичним матеріалом (кальцій-фосфатним цементом) (рис. 3).

30-та доба після операції. Зафіксовано кісткові розростання по краю кульшової западини завдовжки до 8 мм, субхондральна зона дещо склерозована. У цій зоні латерального відділу даху кульшової западини виявлено поодинокую кістку діаметром 13 мм, яка заповнена матеріалом, у ділянці якого визначаються численні кісткові балки, за щільністю тотожні кістковій тканині (рис. 4).

Під час порівняння з рентген-даними на 7-му добу після операції помічено, що між замикальною пластинкою кульшової западини та зовнішньою поверхнею чаші ендопротеза утворилися численні кісткові балки.

Також на 30-ту добу виконано мультиспіральну комп'ютерну томографію (МСКТ) правого кульшового суглоба (рис. 5). За її результатами визначили, що по краю кульшової западини утворилися кісткові розростання завдовжки до 9 мм. Субхондральна зона цієї локалізації нерівномірно склерозована, кіста заповнена щільним матеріалом (вірогідно цементом). В одній із кіст між її стінками та речовиною частково простежуються численні кісткові балки, за рахунок яких межа між кісткою та матеріалом чітко не диференціюється [9].



Рис. 3. Фотовідбитки рентгенограми суглоба на 7-му добу після ендпротезування та пластики кісткового дефекту

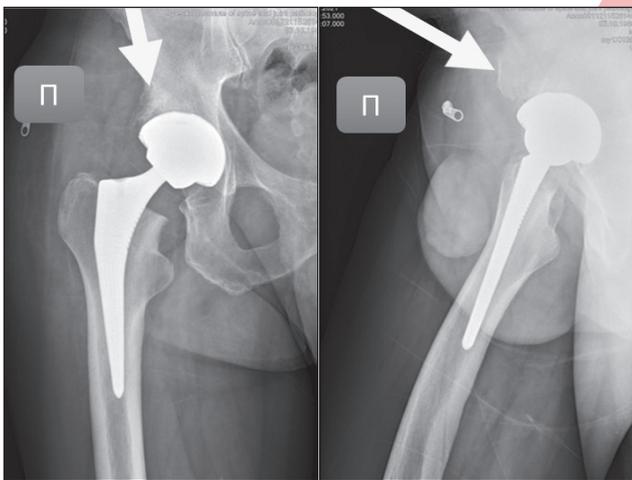


Рис. 4. Фотовідбитки рентгенограми правого кульшового суглоба на 30-ту добу після ендпротезування та пластики кісткового дефекту

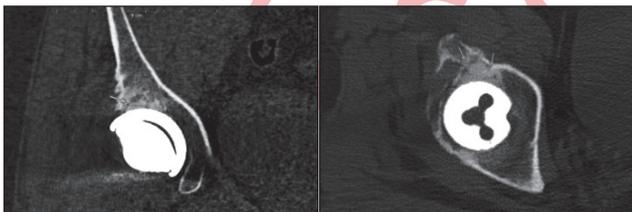


Рис. 5. Мультиспіральна комп'ютерна томограма правого кульшового суглоба

Отримані клінічні та рентгенологічні дані свідчать про доцільність і перспективність використання кісткового цементу на основі ТКФ, посиленого голчастими кристалами ГА, для заміщення порожнинних дефектів кульшової западини за тотального ендпротезування кульшового суглоба. Особливістю наведеного клінічного прикладу є наявність значного дефекту неправильної

форми в зоні даху кульшової западини, що потенційно могло негативно впливати на вторинну стабільність безцементної чашки ендпротеза.

Застосування кальцій-фосфатного цементу з пастоподібною консистенцією дозволило досягти повноцінного заповнення дефекту складної геометрії та забезпечити щільний контакт матеріалу зі стінками кісткової порожнини. Це створило сприятливі умови для подальшого проростання кісткових балок у товщу імплантованої речовини. Виявлені на 30-ту добу післяопераційного періоду рентгенологічні та МСКТ-ознаки формування кісткових трабекул у зоні цементного заповнення узгоджуються з даними експериментальних досліджень щодо біорезорбції та остеоінтеграції матеріалів на основі ТКФ та ГА [10].

Посилення цементу голчастими кристалами ГА в концентрації 4 % м/м дозволило підвищити його компресійну міцність до рівня, достатнього для використання в зоні навантаження, не порушуючи водночас біологічну активність матеріалу. Відомо, що саме співвідношення механічної стабільності та контрольованої резорбції є критичним чинником для успішної реконструкції кісткових дефектів у ділянці кульшового суглоба [11–14]. У наведеному клінічному прикладі не зафіксовано ознак міграції цементу, формування зони асептичного розмежування або порушення фіксації ендпротеза в ранньому післяопераційному періоді.

Отримані результати також свідчать про те, що використання цього біоматеріалу може сприяти покращенню умов для вторинної стабільності чашки ендпротеза за рахунок відновлення цілісності субхондральної кістки та формування кістково-цементного комплексу, здатного до поступової перебудови [15–16]. Подальші дослідження з більшим числом клінічних спостережень і тривалішим періодом динамічного контролю дозволять об'єктивніше оцінити довгострокову ефективність, темпи резорбції та вплив армованого кальцій-фосфатного цементу на виживаність компонентів ендпротеза кульшового суглоба.

Висновок

Післяопераційні рентгенологічні та МСКТ-дані свідчать про позитивну динаміку заміщення порожнинного кісткового дефекту кістковим цементом на основі трикальційфосфату, посиленого голчастими кристалами гідроксилапатиту, з ознаками остеоінтеграції. Пастоподібна консистенція, остеокондуктивні та біосумісні властивості цементу забезпечили повноцінне заповнення

дефекту складної конфігурації та створили умови для стабільної фіксації компонентів ендопротеза в ранньому післяопераційному періоді. Обмежений термін спостереження не дозволив оцінити віддалені результати, що обґрунтовує необхідність подальших клінічних досліджень.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Оптимізація результатів хірургічного втручання у пацієнтів із порожнинними дефектами кісткової тканини.

Інформація про фінансування. Філіпенко В. А. — проведення хірургічного втручання, постановка мети та завдань дослідження, редагування рукопису; Іванчук К. С. — аналіз первинного матеріалу, проведення експериментальних досліджень, написання рукопису.

Список літератури

- Filipenko, V., Vorontsov, P., Valeriia, H., Zorik, A., Samoylova, K., Slota, O., & Mezentsev, V. (2021). Allografting in the case of revision hip arthroplasty at aseptic loosening of the acetabular component. *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, (4), 5–11. <https://doi.org/10.15674/0030-5987202045-11>
- Li, J. J., Dunstan, C. R., Entezari, A., Li, Q., Steck, R., Saifzadeh, S., Sadeghpour, A., Field, J. R., Akey, A., Vielreicher, M., Friedrich, O., Roohani-Esfahani, S., & Zreiqat, H. (2019). A novel bone substitute with high bioactivity, strength, and porosity for repairing large and load-bearing bone defects. *Advanced healthcare materials*, 8(13), e1900641. <https://doi.org/10.1002/adhm.201900641>
- Baldwin, P., Li, D. J., Auston, D. A., Mir, H. S., Yoon, R. S., & Koval, K. J. (2019). Autograft, allograft, and bone graft substitutes: Clinical evidence and indications for use in orthopaedic trauma surgery. *Journal of orthopaedic trauma*, 33(4), 203–213. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000001420>
- Jiang, J., Wang, J., Fan, P., Zhao, Z., Deng, H., Li, J., Wang, Y., & Wang, Y. (2025). Biomaterial-based strategies for bone cement: Modulating the bone microenvironment and promoting regeneration. *Journal of nanobiotechnology*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12951-025-03363-5>
- Goncharenko, A., Zyman, Z., & Epple, M. (2020). Structure–property relationships in a reinforced calcium phosphate cement based on metastable α' -tricalcium phosphate. In book of abstracts: joint polish-german crystallographic meeting.
- Poplavskaya, K., & Ashukina, N. (2023). Bone regeneration after implantation of calcium phosphate cements based on metastable tricalcium phosphate (in vivo experimental study). *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, (1), 41–48. <https://doi.org/10.15674/0030-59872023141-48>
- Chun, C. H., Kim, J. W., Kim, S. H., Kim, B. G., Chun, K. C., & Kim, K. M. (2014). Clinical and radiological results of femoral head structural allograft for severe bone defects in revision TKA: A minimum 8-year follow-up. *The knee*, 21(2), 420–423. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2013.04.012>
- Zyman, Z., Goncharenko, A., Khavroniuk, O., & Rokhmistrov, D. (2020). Crystallization of metastable and stable phases from hydrolyzed amorphous calcium phosphates with a Ca/P ratio of 1:1. *Journal of crystal growth*, 535, 125547. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2020.125547>
- Kumar, V., Naik, G. N., Tuteja, S., Bhasin, M. T., Chattopadhyay, D., Chowdhury, S., & Kashwani, R. (2025). Evaluation of radiographic and clinical outcomes in the use of bone substitutes in periapical surgery and periodontal regeneration. *Journal of pharmacy and bioallied sciences*, 17(Suppl. 3), S2218–S2220. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_1058_25
- Czechowska, J. P., Dorner-Reisel, A., & Zima, A. (2024). Hybrid bone substitute containing tricalcium phosphate and silver-modified hydroxyapatite–methylcellulose granules. *Journal of functional biomaterials*, 15(7), 196. <https://doi.org/10.3390/jfb15070196>
- Cerbu, C., Ursache, S., Botis, M. F., & Hadăr, A. (2021). Simulation of hybrid carbon-aramid composite materials based on mechanical characterization by digital image correlation method. *Polymers*, 13(23), 4184. <https://doi.org/10.3390/polym13234184>
- Dorozhkin, S. (2013). Calcium orthophosphate-based bio-ceramics. *Materials*, 6(9), 3840–3942. <https://doi.org/10.3390/ma6093840>
- Dziadek, M., Zima, A., Cichoń, E., Czechowska, J., & Ślósarczyk, A. (2020). Biomicroconcretes based on hybrid HAP/CTS granules, α -TCP, and pectins as novel injectable bone substitutes. *Materials letters*, 265, 127457. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2020.127457>
- Elgali, I., Omar, O., Dahlin, C., & Thomsen, P. (2017). Guided bone regeneration: Materials and biological mechanisms revisited. *European journal of oral sciences*, 125(5), 315–337. <https://doi.org/10.1111/eos.12364>
- Gu, X., Li, Y., Qi, C., & Cai, K. (2022). Biodegradable magnesium phosphates in biomedical applications. *Journal of materials chemistry B*, 10(13), 2097–2112. <https://doi.org/10.1039/d1tb02836g>
- Hou, X., Zhang, L., Zhou, Z., Luo, X., Wang, T., Zhao, X., Lu, B., Chen, F., & Zheng, L. (2022). Calcium phosphate-based biomaterials for bone repair. *Journal of functional biomaterials*, 13(4), 187. <https://doi.org/10.3390/jfb13040187>

Стаття надійшла до редакції 12.01.2026	Отримано після рецензування 12.02.2026	Прийнято до друку 23.02.2026
---	---	---------------------------------

CLINICAL CASE OF USING TRICALCIUM PHOSPHATE-BASED BONE CEMENT REINFORCED WITH HYDROXYAPATITE

V. A. Filipenko¹, K. S. Ivanchuk²

¹ Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kharkiv

² SI «National Institute of Traumatology and Orthopedics of the NAMS of Ukraine», Kyiv

* Volodymyr Filipenko, MD, DMSci, Prof. in Orthopaedic and Traumatology: filipenko1957@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5698-2726>

* Karolina Ivanchuk, MD, PhD: <https://orcid.org/0000-0002-9838-1651>