

# Клінічний приклад використання вуглець-вуглецевого композиту для заміщення дефекту діафіза стегнової кістки

В. М. Чорний<sup>1</sup>\*, A,B,C,D, В. І. Перцов<sup>2</sup> E,F

Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Україна

A – концепція та дизайн дослідження; B – збір даних; C – аналіз та інтерпретація даних; D – написання статті; E – редагування статті; F – остаточне затвердження статті

## Ключові слова:

хірургічне лікування, остеосинтез, імпланти, вуглецевий композит.

Запорізький медичний журнал.  
2024. Т. 26, № 1(142).  
С. 84-88

\*E-mail:  
chorniy.vadim.dok@gmail.com

Окремим напрямом в остеосинтезі є вивчення можливостей з'єднання частин кістки після видалення пухлини. Тому в сучасній онкологічній ортопедії надзвичайно актуальним є питання щодо використання імплантів з металів, полімерів і вуглецю, які мають високу спорідненість з кістковою тканиною. Вивчення вуглецевих композитних матеріалів має важливе практичне значення, зокрема в галузі ортопедії та травматології. Такі матеріали можна застосовувати для заміщення кісткових дефектів в онкологічній травматології.

**Мета роботи** – визначити можливість використання вуглецевих композитних матеріалів у заміщенні дефекту стегна після резекції пухлини.

**Клінічний випадок.** Наведено випадок використання імпланту з вуглецевого композитного матеріалу у пацієнтки з остеосаркомою правого стегна та патологічним переломом середньої третини стегна.

Дослідження здійснили з дотриманням до принципів Гельсінської декларації. На здійснення досліджень одержали письмову інформовану згоду пацієнта.

**Висновки.** У результаті вивчення результатів застосування імплантів з вуглецевого композитного матеріалу (на прикладі клінічного випадку), встановили: вони проникли для рентгенівських променів і можуть бути використані для заміщення кісткового дефекту в онкологічній травматології.

## Keywords:

surgical procedures, osteosynthesis, implants, carbon composite.

Zaporozhye medical journal.  
2024;26(1):84-88

## A clinical example of using a carbon-carbon composite to replace a femur diaphyseal defect

V. M. Chorny, V. I. Pertsov

A separate direction in osteosynthesis is the study on the possibilities of bone union after tumor resection. In this regard, the issue of using implants made of metals, polymers, and carbon, which have a high bone binding affinity, is on the agenda for modern oncological orthopedics. Studying carbon composite materials has shown practical effectiveness of their medical use, in particular in orthopedics and traumatology, that can be applied to replace bone defects in oncological traumatology.

**Aim.** To determine the possibility of using carbon composite materials in the femur defect replacement after tumor resection.

**Clinical case.** A case of using an implant made of the carbon composite material for a patient with right femur osteosarcoma and a pathological femoral middle-third fracture is presented.

The study was carried out in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki. The patient signed the written informed consent form for the study.

**Conclusions.** The results of using the implant made of the carbon composite material have shown its permeability to X-rays and potential use for bone defect replacement in oncological traumatology.

Питання щодо синтезу кісток залишається актуальним вже доволі тривалий час. Зокрема, на практиці труднощі виникають під час з'єднання частин кістки після видалення пухлини або внаслідок наявності кістозного утворення [6].

Злоякісні пухлини кісток становлять 4–6 % злоякісних пухлин людини, зумовлюють необхідність радикального хірургічного лікування в поєднанні з наступним хіміє- та променевою лікуванням. Це обґрунтовує нагальність питання про надійне з'єднання кісткових уламків при патологічних переломах кісток кінцівок і заміщення кісткових дефектів після сегментарних резекцій для сучасної онкологічної ортопедії [7].

Раніше основним методом заміщення великих кісткових дефектів була кісткова алопластика [8]. Останнім часом для лікування переломів довгих кісток та заміщен-

ня дефектів кісток використовують імпланти з металів, полімерів, вуглецю та кальційфосфатних керамік, що мають високу спорідненість з кістковою тканиною. Це поєднує дві галузі наукової думки – медицину, зокрема ортопедію, та матеріалознавство. Втім, застосування індивідуальних металевих, металополімерних, керамічних тощо імплантів не призвело до розв'язання проблеми. Це спричинено технологічними труднощами, а також тривалістю процесу виготовлення конструкцій.

При виконанні звичайного остеосинтезу переломів кісток кінцівок питання про тривалу взаємодію імплантату та тканин людини не стоїть так гостро, як при заміщенні кісткових дефектів, оскільки при остеосинтезі імплантат виконує свою дію впродовж відносно короткого часу. Якщо йдеться про заміщення кісткових дефектів, імплантат повинен знаходитись у тканинах

організму людини тривалий час, тому питання про біологічну сумісність і біологічну інертність матеріалу, з якого виготовлено імплантат, стають дуже важливими.

Вуглецеві композитні матеріали давно й ефективно використовують у медичній практиці, зокрема в ортопедії та травматології [9, 10]. Їх використовують для остеосинтезу при переломах довгих кісток, для пластичного відновлення зв'язок, виготовлення ендопротезів, заміщення невеликих кісткових дефектів тощо [1]. Виконано багато досліджень, де аналізували можливість ефективнішого використання вуглецевого композитного матеріалу.

## Мета роботи

Визначити можливість використання вуглецевих композитних матеріалів у заміщенні дефекту стегна після резекції пухлини.

## Матеріали і методи дослідження

Як матеріал для виготовлення імплантатів використали вуглець-вуглецевий композиційний матеріал (ВВКМ). Його одержують у результаті зв'язування вуглецевих волокон вуглецем у середовищі метану (СН<sub>4</sub>) при нагріванні до температур понад 1000 °С. За такої температури метан розкладається на вуглець і водень. Газоподібний водень випаровується, а вуглець, спікаючись, з'єднує вуглецеві волокна. Хімічний склад вуглецевого композитного матеріалу – 96,0–99,6 % вуглець [2].

Вихідною сировиною для отримання фіксаторів є вуглецева тканина марки «ТГН» (дані представлені розробником та виробником ВВКМ Інститутом фізики твердого тіла, матеріалознавства та технології Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України).

Характеристики матеріалу, з якого виготовляли конструкції, наведено у таблиці 1.

Грунтуючись на результатах досліджень, розроблено оригінальні конструкції імплантатів для з'єднання кісткових уламків і заміщення кісткових дефектів після видалення пухлин. Крім того, розроблено методики заміщення суглобових, навколосуглобових та діафізарних кісткових дефектів [3,4,5].

## Клінічний випадок

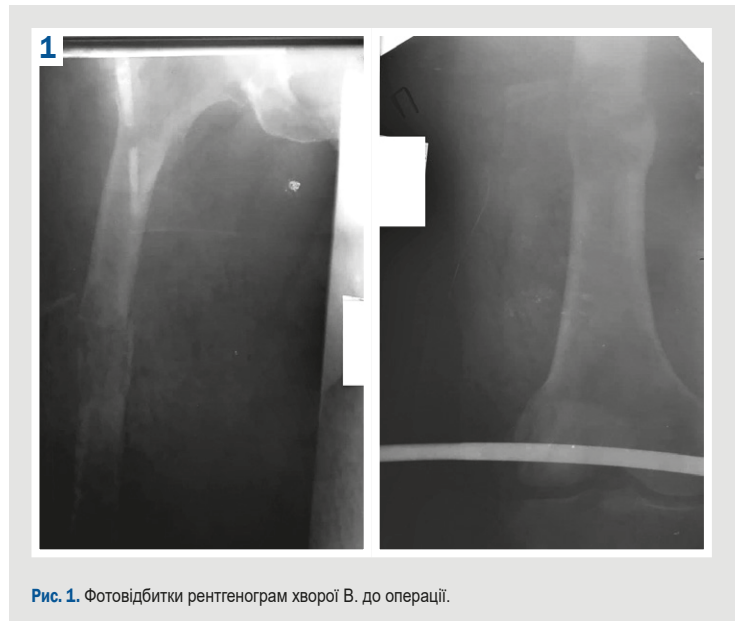
Пацієнтка В. віком 68 років звернулась до відділення травматології та ортопедії зі скаргами на виражені болі в ділянці середньої третини правого стегна, порушення функції правої нижньої кінцівки.

Зі слів хворої, травму отримала в побуті, коли під час ходи відчула різкий біль і внаслідок падіння з приземленням на правий бік отримала деформацію в середній третині правого стегна. Відразу виник гострий біль, виражена деформація в правому стегні, спроби рухів правим стегном різко посилювали больові відчуття.

Зі слів хворої, в неї видалена нирка з приводу злоякісного новоутворення. Диспансерний огляд в онколога й обстеження здійснювала щороку. Хворіє на артеріальну гіпертензію протягом 10 років. На час огляду шкірні покриви в ділянці середньої третини правого стегна не

**Таблиця 1.** Параметри та характеристики матеріалу, з якого виготовлені конструкції

| Параметр ВВКМ   | Значення                     |                        |
|---|------------------------------|------------------------|
| Щільність матеріалу, г/см <sup>3</sup> , не менше ніж | 1,35                         |                        |
| Межа міцності при                                     | стисканні, МПа,              | 90–210 (середня – 150) |
|   | вигинанні, МПа, не менше ніж | 60                     |
|   | розтягуванні, МПа            | 50–90 (середня 71)     |
| Теплопровідність, Вт/м град                           | 5–15                         |                        |
| Вміст вуглецю, %, не менше ніж                        | 95                           |                        |



**Рис. 1.** Фотовідбитки рентенограм хворої В. до операції.

пошкоджені. Визначили набряк у ділянці середньої третини правого стегна, крепітацію фрагментів і патологічну рухомість. Осьове навантаження на кінцівку не можливе. Встановили укорочення правої нижньої кінцівки до 2 см, зовнішню ротацію стопи. Симптом прилиплої п'яти справа позитивний. Розладів кровообігу та чутливості у периферичних відділах на час огляду немає.

Під час надходження хворій здійснили рентгенографію, накладено систему постійного скелетного витягнення через горбистість великогомілкової кістки правої гомілки.

Під час надходження в травматологічне відділення частота серцевих скорочень – 120 на хвилину, артеріальний тиск – 110/70 мм рт. ст. Результати лабораторних досліджень: еритроцити –  $3,56 \times 10^{12}/л$ , гемоглобін –  $10^9$  г/л, лейкоцити –  $3,5 \times 10^9/л$ , еозинофіли – 2 %, паличкоядерні нейтрофіли – 1 %, сегментоядерні нейтрофіли – 68 %, лімфоцити – 25 %, моноцити – 4 %, швидкість зсідання еритроцитів – 30 мм/год, протромбіновий індекс – 88 %, гематокрит – 0,36, фібриноген – 6,21 г/л. Дані біохімічного аналізу крові: загальний білок – 64 г/л, білірубін загальний – 16 мкмоль/л, тимолова проба – 1,3 Од, креатинін – 91 мкмоль/л, АсАТ – 0,3, АлАТ – 0,8, калій – 4,9 ммоль/л.

У відділенні травматології та ортопедії здійснили обстеження хворої з консультацією онколога. Встановлено діагноз: остеосаркома правого стегна; патологічний перелом середньої третини правої стегнової кістки зі зміщенням кісткових фрагментів (рис. 1).



Рис. 2. Фотовідбитки імплантату з вуглецевого матеріалу інтраопераційно.



Рис. 3. Фотовідбитки рентгенографії після операції.



Рис. 4. Видалена пухлина з імплантатом з вуглецевого композитного матеріалу.

Після триразової обробки операційного поля розчином йодонату шкірним розрізом по зовнішній поверхні правого стегна виконали пошаровий доступ до зони пухлини. Проведено етапний гемостаз. Виконали резекцію патологічного утворення (рис. 4). За допомогою канюльованого свердла по провіднику сформований канал у проксимальній і дистальній частинах стегна. Виміряли довжину дефекту, сформували імплантат відповідного розміру. Стрижень проведено через проксимальний фрагмент, внутрішній отвір імплантату, зафіксовано в дистальному фрагменті (рис. 2). За допомогою дистальної навігації встановлено блокувальні гвинти. Використовуючи проксимальну та дистальну

навігацію, стрижень блоковано двома кортикальними гвинтами у проксимальному фрагменті. За даними контролю фіксації, остеосинтез стабільний. Рентгенологічний контроль – позиціонування фрагментів і фіксатора задовільне (рис. 3). Рана промита, здійснили поетапний гемостаз; пошарово ушито наглухо. Нанесено йод на шкіру, накладено асептичну пов'язку.

У післяопераційному періоді рана загоїлась первинно, шви зняті на 14 добу. Дозоване навантаження на кінцівку рекомендовано з 6 тижня після операції, ходьба з тростиною – з 8 тижня. Без додаткової опори пацієнтка почала пересуватися через 10 тижнів після операції.



5

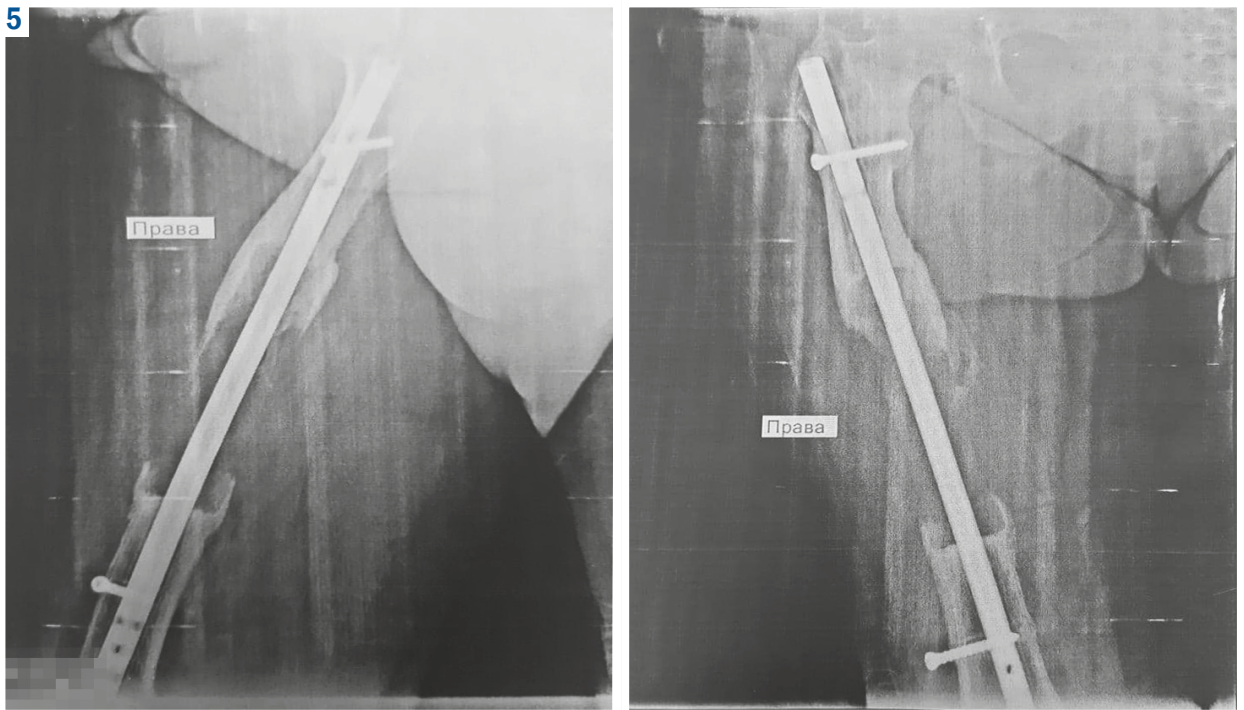


Рис. 5. Фотовідбитки рентгенографії правого стегна через 2 роки.

Динаміка показників загального аналізу крові свідчить про нормальний перебіг післяопераційного періоду. Динаміка змін швидкості зсідання еритроцитів і С-реактивного білка типова для післяопераційного періоду після остеосинтезу стегна.

На контрольному огляді через 6 місяців, зі слів пацієнтки, больові відчуття помірної інтенсивності виникають лише після інтенсивного фізичного навантаження. Пацієнтка не застосовує знеболювальні препарати.

Віддалені результати оцінювали через 2 роки. На контрольній рентгенографії правого стегна визначили формування кісткової мозолі між імплантатом та кісткою (рис. 5). Хвора вільно ходить без додаткової опори, обсяг рухів достатній (рис. 6).

### Обговорення

Іноді перебіг хвороби зумовлює необхідність виконати резекцію кістки доволі великої довжини, і тоді перед лікарем виникає питання про те, чим замінити дефект. За даними клінічного випадку, що описали, показано можливість використати вуглецевий композит.

Вуглець-вуглецевий композитний матеріал – сертифікований матеріал вітчизняного виробництва, що пройшов медичні випробування. Тому ухвалено рішення про саме таке заміщення дефекту від вилученої пухлини.

У післяопераційному періоді в пацієнтки не виникли ускладнення, а строки реабілітації хворої були адекватні до обсягу втручання. Зазначимо, що під час операції довжину імплантату потрібно було зменшити. Це неможливо без електричної циркулярної пилки, оскільки матеріал має високу щільність. Цей аспект треба враховувати під час планування операції.

6



Рис. 6. Обсяг рухів через 2 роки після оперативного втручання.

## Висновки

1. Використання імплантату з вуглецевого композитного матеріалу для заміщення дефекту кістки показало задовільні результати і в ранньому, і в пізньому післяопераційному періоді. Трансплантат не викликав токсичних та інфекційних ускладнень.

2. Вуглецеві композитні матеріали проникні для рентгенівських променів. Це дає змогу здійснювати ефективніший інтраопераційний моніторинг ушкодженої кінцівки, а отже сприяє кращій репозиції і меншій травматизації м'яких тканин.

3. У віддаленому післяопераційному періоді спостерігали інтеграційні процеси між вуглець-вуглецевим композитним матеріалом і кісткою.

**Конфлікт інтересів:** відсутній.

**Conflicts of interest:** authors have no conflict of interest to declare.

Надійшла до редакції / Received: 17.11.2023

Після доопрацювання / Revised: 01.12.2023

Схвалено до друку / Accepted: 05.12.2023

## Відомості про авторів:

Чорний В. М., д-р мед. наук, доцент каф. травматології та ортопедії, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Україна.

ORCID ID: [0000-0002-8273-9276](https://orcid.org/0000-0002-8273-9276)

Перцов В. І., д-р мед. наук, професор, зав. каф. медицини катастроф та військової медицини, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Україна.

ORCID ID: [0000-0001-9285-6938](https://orcid.org/0000-0001-9285-6938)

## Information about the authors:

Chorni V. M., MD, PhD, DSc, Associate Professor of the Department of Traumatology and Orthopedics, Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University, Ukraine.

Pertsov V. I., MD, PhD, DSc, Professor, Head of the Department of Disaster Medicine and Military Medicine, Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University, Ukraine.

## References

1. Beirami S, Nikkhoo M, Hassani K, Karimi A. A comparative finite element simulation of locking compression plate materials for tibial fracture treatment. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2021;24(10):1064-72. doi: [10.1080/10255842.2020.1867114](https://doi.org/10.1080/10255842.2020.1867114)
2. Wang J, Schlagenhaut L, Setyan A. Transformation of the released asbestos, carbon fibers and carbon nanotubes from composite materials and the changes of their potential health impacts. *J Nanobiotechnology.* 2017;15(1):15. doi: [10.1186/s12951-017-0248-7](https://doi.org/10.1186/s12951-017-0248-7)
3. Guo Y, Guo W. Study and numerical analysis of Von Mises stress of a new tumor-type distal femoral prosthesis comprising a peek composite reinforced with carbon fibers: finite element analysis. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2022;25(15):1663-77. doi: [10.1080/10255842.2022.2032681](https://doi.org/10.1080/10255842.2022.2032681)
4. Dimitrievska S, Whitfield J, Hacking SA, Bureau MN. Novel carbon fiber composite for hip replacement with improved in vitro and in vivo osseointegration. *J Biomed Mater Res A.* 2009;91(1):37-51. doi: [10.1002/jbm.a.32175](https://doi.org/10.1002/jbm.a.32175)
5. Kulej M, Dragan SL, Kuryszko J, Kuropka P, Widuchowski W, Dragan SF. Micromorphological assessment of bone tissue remodeling in various hip degeneration conditions. *Adv Clin Exp Med.* 2020;29(1):51-61. doi: [10.17219/acem/112059](https://doi.org/10.17219/acem/112059)
6. Bayram S, Özmen E, Birişik F, Kiral D, Salduz A, Erşen A. Prognostic factors affecting survival of patients with pathologic humerus shaft fractures treated with intramedullary nailing without tumor removal. *J Orthop Sci.* 2019;24(6):1068-73. doi: [10.1016/j.jos.2019.08.022](https://doi.org/10.1016/j.jos.2019.08.022)
7. Yang Y, Li B, Li Z, Wei Q, Li F, Shan H, et al. Parallel reconstruction of vascularized fibula autograft for treatment of complications after

resection of malignant tumor from the thigh. *Plast Reconstr Surg.* 2023 Aug 29. doi: [10.1097/PRS.00000000000011031](https://doi.org/10.1097/PRS.00000000000011031)

8. Sorger JI, Hornicek FJ, Zavatta M, Menzner JP, Gebhardt MC, Tomford WW, et al. Allograft fractures revisited. *Clin Orthop Relat Res.* 2001;(382):66-74. doi: [10.1097/00003086-200101000-00011](https://doi.org/10.1097/00003086-200101000-00011)
9. Liao C, Li Y, Tjong SC. Polyetheretherketone and Its Composites for Bone Replacement and Regeneration. *Polymers (Basel).* 2020;12(12):2858. doi: [10.3390/polym12122858](https://doi.org/10.3390/polym12122858)
10. Milavec H, Kellner C, Ravikumar N, Albers CE, Lerch T, Hoppe S, et al. First Clinical Experience with a Carbon Fibre Reinforced PEEK Composite Plating System for Anterior Cervical Discectomy and Fusion. *J Funct Biomater.* 2019;10(3):29. doi: [10.3390/jfb10030029](https://doi.org/10.3390/jfb10030029)