



УДК: 616.717.42-001.5

CARBON COMPOSITE MATERIALS AS IMPLANTS FOR ORTHOPEDICS AND TRAUMATOLOGY.**(literature review)****ВУГЛИЦЕВІ КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ ЯК ІМПЛАНТАТИ ДЛЯ ОРТОПЕДІЇ І ТРАВМАТОЛОГІЇ.****(огляд літератури)****Chorniy V.V. / Чорний В.В.**

ORCID: 0000-0003-0902-7616

*Запорізький державний медико - фармацевтичний університет**Україна, м. Запоріжжя, пр. Маяковського, 26**Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University**Ukraine, Zaporizhzhia, 26 Mayakovsky Avenue*

Анотація В травматології та ортопедії розуміння остеосинтезу об'єднує в собі вивчення фізичних та фізіологічних властивостей апарату опори людини та конфігурацію і матеріалознавство імплантатів. Головними напрямками розвитку остеосинтезу є мінімізація оперативних втручань, малоінвазивність, зменшення крововтрати та тривалості операцій.

Лікування переломів кісток є актуальною медичною проблемою, яка має важливу соціальну значимість. Якість і швидкість загоєння перелому кістки залежить від ділянки травматичного ушкодження, стабільності фіксації, розмірів міжвідламкової щілини, стану організму та інших факторів.

Особливо перспективним у вирішенні даної проблеми є використання вуглець-вуглецевого композитного матеріалу для остеосинтезу.

Ідея вибору вуглецю в якості матеріалу для виготовлення медичних виробів базується на його унікальних природних властивостях - високу біологічну сумісність.

Ключові слова: остеосинтез, переломи шийки плечової кістки, хірургічне лікування, матеріали; вуглець-вуглецевий композиційний матеріал (ВВКМ)

Вступ

На сьогоднішній день оптимальне лікування нестабільних метафізарних та метадіафізарних переломів довгих кісток залишається дискусійним. Близьке розташування таких переломів до суглоба робить їх хірургічне лікування більш складним, ніж у випадку їхньої локалізації в діафізарній зоні. Для лікування цих ушкоджень були запропоновані різноманітні методи: зовнішній остеосинтез, фіксація за допомогою пластини, інтрамедулярний остеосинтез, а також консервативні методи. Однак, для кожного із цих варіантів лікування характерні деякі переваги й недоліки, а також специфіка відносно показань до них.

Накісткова фіксація переломів пластиною та гвинтами є доволі поширеним та ефективним варіантом остеосинтезу метафізарних та метадіафізарних переломів. Існує кілька основних видів пластин (опорні, компресійні, мостоподібні), які використовують в залежності від анатомічної зони та розміру кістки. До недоліків відкритої репозиції й накісткової фіксації переломів пластиною можна віднести значне розсічення м'яких тканин, яке може призвести до інфекційних та інших ускладнень.



Основний текст У 60-ті роки застосування вуглецевих імплантатів пережило своєрідний бум. Велика кількість публікацій була присвячена використанню вуглецевих матеріалів в медицині і, зокрема, в ортопедії і травматології. Вивчалось експериментальне та клінічне використання різних видів вуглецевмісних імплантатів.

Перші публікації про успішне застосування вуглецевих імплантатів в клінічній практиці за кордоном відносяться до 80-90 рр. минулого століття

Вивчення перспектив використання вуглецевих матеріалів в ортопедії, травматології, нейрохірургії, щелепно-лицевої хірургії за кордоном і в Україні продовжилось і на початку ХХІ століття.

Практичне застосування вуглецевих імплантатів раніше інших розпочато в стоматологічній практиці. Це пов'язано з тим, що в стоматології використовувалися невеликі за обсягом імплантати, які легше адаптувалися в організмі людини і не викликали побічних реакцій. М.Хоссаїн обґрунтував використання ендопротезів з вуглецевих матеріалів при лікуванні кісткових захворювань скронево-нижньощелепного суглоба у дітей та підлітків.

Ще однією причиною зацікавленості травматології та ортопедії у вуглецевих імплантатах є злякисні новоутворення кісток.

Останні роки значно розширився арсенал біосинтетических замісних матеріалів. При реконструктивно-відновних операціях на скелеті для заповнення кісткових порожнин і остеосинтезу застосовують різні біоматеріали - кальцій-фосфатні кераміки, біоскло, кістковий цемент, біодеградуючі полімери - Полілактид і полігліколід. Використання нанотехнологій дало можливість створити нанотрубки на основі вуглецю, які з успіхом використовували для стимуляції регенерації кістки в поєднанні з медикаментозними препаратами і біоактивними макромолекулами, що формують матрикс кістки, такими як гіалуронова кислота і колаген. В цілому, використання вуглецевих нанотрубочек розглядається як одне з найбільш перспективних напрямків в регенерації, оскільки на їх основі можливе створити адекватний замісник кістки .

В поодиноких випадках між м'язами зафіксовано наявність алергічної реакції, запалення і скупчення тучних клітин. Незважаючи на виявлені зміни, автори зробили висновок, що вуглець-вуглецевий композиційний матеріал є перспективною сировиною для виготовлення імплантатів, що служать для заміщення практично будь-яких дефектів в довгих кістках кінцівок.

Є дані про успішне застосування імплантатів з наноструктурного вуглецю волокнистої структури для заміщення пострезекційних дефектів при пухлинних і кістозних ураженнях кісток .

Проведені клінічні дослідження вуглецевих матеріалів показали їх високу біосумісність, хороші стабілізуючі властивості, відсутність негативних проявів в кістковій тканині.

Повернення інтересу до вуглецю обумовлено створенням нового покоління вуглецевих композиційних матеріалів, механічні властивості яких можуть бути задані і регулюватися в значних межах. Поверхнева структура і пористість дає можливість моделювати їх механічні властивості відповідно до параметрів тканини.



Вуглецеві матеріали, зокрема вуглець–вуглецеві композиційні матеріали (ВВКМ), є відносно новими конструкційними матеріалами в практичній травматології та ортопедії. Їх успішно використовують при остеосинтезі та ендопротезуванні кісткових структур завдяки комплексу необхідних фізико-механічних та хімічних властивостей, за деякими з них перевершують традиційні металеві та полімерні імплантати.

ВВКМ прониклі для рентгенівських променів, піддаються механічній обробці. Дані матеріали не іонізуються при опроміненні і не являються джерелом вторинного випромінювання, що дає змогу проведення курсів післяопераційної променевої терапії Комбінований остеосинтез з використанням вуглецевих фіксаторів особливо ефективний при явищах остеопорозу, паталогічних переломах.

Вуглець-вуглецеві композити - загальна назва широкого класу матеріалів, що складаються із вуглецевих або графітових волокон і вуглецевої або графітової матриці. Вони не тільки мають усі привабливі властивості графітів, але мають і додаткові корисні особливості.

Вуглець-вуглецеві композиційні матеріали (ВВКМ) являють собою графітову або вуглецеву матрицю, зміцнену вуглецевими волокнами. Вуглець-вуглецеві композити досить легкі – вони вдвічі легші за алюміній. Міцність ВВКМ збільшується або принаймні не зменшується аж до температур 1500-1600°C та вище. Крім того властивості вуглець-вуглецевих матеріалів можна програмувати шляхом армування вуглецевими волокнами у потрібному напрямі. Ці властивості роблять їх особливо привабливими для використання в медицині, металургії, хімічній промисловості, а також у багатьох інших галузях застосування.

Методи хімічного осадження та інфільтрації (CVD та CVI, відповідно) вуглецю зіграли головну роль у розробці вуглець-вуглецевих матеріалів. Суть методу полягає у піролізі газофазних вуглеводнів на поверхні (CVD) або в об'ємі (CVI) преформи, що ущільнюється. Газофазні методи дозволили істотно спростити і прискорити процес одержання вуглець-вуглецевих матеріалів, дозволили відмовитися від складної та дорогої операції просочення преформ пеками.

Основним недоліком вуглецевих нитей на основі віскози можна вважати їх відносно невисоку механічну міцність та щільність. З іншого боку віскозні волокна мають відносно невеликий модуль пружності, що дозволяє досить легко формувати преформу майже без втрат міцносних властивостей волокон.

Більш перспективними, з точки зору міцності, можуть бути вуглецеві волокна на основі поліакрілонітрилу (ПАН), пеків та інші синтетичні вуглецеві волокна. Вуглецеві волокна на основі ПАН мають міцність у кілька разів вищу, ніж вуглецеві волокна на основі віскози.

УУКМ - матеріал представляє собою джгути ПАН-волокон, що зв'язані між собою віскозною ниттю, розташованою по основі. У запропонованому матеріалі джгути ПАН-вуглецевого волокна розташовані прямо, без перегинів, а усі перегини приходяться на долю віскозної нитки

На наш погляд, запропоновані модифіковані вуглець-вуглецеві



композиційні структури, мають поєднувати високу механічну міцність та досить велику ступінь пластичності.

З точки зору вуглецево-композитних матеріалів для медичних виробів, які використовують при остеосинтезі, однією з найважливіших характеристик є висока питома міцність та модуль пружності, який повинен відповідати модулю пружності основних кортикальних кісток людини [1]. Це дозволяє створювати системи «аугмент-кістка» та «імплантат-кістка» в яких під дією механічних навантажень за рахунок злагодженої деформації не виникає значних концентрацій напружень на границях композитного імплантату та кістки [2]. Наряду зі здатністю спричиняти опір існуванню патогенних організмів на поверхнях виробів з вуглецево-композитних матеріалів їх високий рівень механічної біосумісності с живими тканинами людини робить застосування таких матеріалів оправданим при остеосинтезі, незважаючи на більш високу вартість у порівнянні з металевими [3].

Автори роботи [4] підкреслюють, що металеві ортопедичні матеріали мають спільну історію застосування з аерокосмічною галуззю, що робить їх лише частково ефективними в біомедичній сфері. Однак придатність для заміни кісткової тканини та регенеративної терапії залишається беззаперечною завдяки їхнім чудовим механічним властивостям, хоча вони не є повністю біосумісними.

Як було відмічено раніше, одним із дискусійних питань при застосуванні композиційних матеріалів при остеосинтезі є їх здатність витримувати механічні навантаження. Незважаючи на те, що рівень граничних напружень, які можуть витримувати вуглецево-композитні матеріали при кімнатній температурі не значно менший за металеві, що використовуються при остеосинтезі [5], одним з питань є можливість витримувати значні контакти навантаження і навантаження, що виникають в зонах конструктивних концентраторів напружень та вузлах кріплення.

За результатами досліджень вуглець-вуглецевий матеріал є біоінертним, що підтверджується відсутністю клітинної реакції навколо вуглецевих фрагментів

Механічні властивості сучасних вуглецевих композитів можна підібрати таким чином, щоб вони відповідали показникам живої кістки. Залишкова пористість вуглецевого композиційного матеріалу дозволяє насичувати імплантати різними речовинами: антибіотиками, антисептиками, які забезпечують протимікробну активність, або поверхнево-активними речовинами на основі фосфату кальцію для забезпечення остеоіндуктивних властивостей імплантату.

Дослідження, щодо використання вуглецевих імплантатів в ортопедичній практиці, в наш час найбільш активно ведуться в США, Франції та Японії. При цьому перевага віддається карбоновим імплантатам з епоксидним або полі-ефір-ефір-кетонним просоченням (РЕЕК). Але на сьогоднішній день практично відсутня теоретично та експериментально обґрунтована технологія остеосинтезу метафізарних та метадіафізарних переломів довгих кісток з використанням вуглецевих імплантатів, що забезпечують надійну тривалу фіксацію кісткових відламків. Один з варіантів застосування таких матеріалів при переломах проксимальної частини плеча.



Проксимальний відділ плечової кістки ушкоджується у 32-65% при ушкодженнях верхньої кінцівки [11]. Ушкодження проксимального відділу плечової кістки супроводжуються стійким порушенням функції та тривалою непрацездатністю [11]. Лікування хворих з цією патологією становить значні труднощі, оскільки більшість пацієнтів похилого віку. За даними різних авторів питома вага осіб з ушкодженням проксимального відділу плечової кістки старше 50 років становить 80% і більше, питома вага жінок серед них досягає 60-70%, що обумовлено супутньою системною остеопенією або остеопорозом [6,7,8,11]. У більшості постраждалих літнього віку спостерігаються багатооскольчаті переломи, при яких хірургічна шийка плечової кістки роздроблена і як анатомічна структура відсутня [10,11,16].

При переломах у чверті хворих зустрічається пошкодження ротаційної манжети плеча [13,14,18]. Неодноразово зазначено, що навіть при мінімальному зміщенні великого горбка в 25% випадків є порушення ротаційної манжети плеча (РМП) [9,11,12,16]. Неспроможність РМП розвивається внаслідок усунення її точки прикріплення до плечової кістки разом із фрагментом великого горбка [9,13].

В останні роки більшість авторів дотримуються думки щодо доцільності консервативних методів лікування стабільних переломів та оперативного лікування при нестабільних ушкодженнях. На суттєві проблеми досягнення анатомічної репозиції ушкодження проксимального відділу плечової кістки вказують багато дослідників [6,7,10,11]. Це насамперед стосується групи пацієнтів похилого віку з остеопорозом, у яких переломи характеризуються наявністю великої кількості уламків [14,16]. Зниження мінеральної щільності кісткової тканини призводить до нестійкості металоконструкцій [16].

Велике значення має збереження кровообігу в головці плечової кістки. Головка плечової кістки кровопостачається арочною артерією *arteria arcuata*, яка є гілкою передньої артерії, що обгинає плече *a. circumflexa humeri anterior*, і відходить від неї в зоні розташованої всередині від медіального краю міжгорбкової борозни, на рівні хірургічної шийки плечової кістки [15].

Типовими ускладненнями операцій є: неправильне зрощення перелому, втрата стабільності фіксації, пошкодження суглобових поверхонь, аваскулярний некроз головки плечової кістки, нейроваскулярні ускладнення [17,18].

Висновки На основі представлених даних літератури і власних досліджень встановлено, що різні форми вуглецю нетоксичні і безпечні, мають достатній запас механічної міцності, дають можливість виготовляти фіксатори для переломів кісток.

У цілому, необхідно відзначити, що не існує ідеального біоматеріалу, відповідного до властивостей кісткової тканини. Підбір матеріалів для використання в ортопедії і травматології як фіксувального або замісного біоматеріалу досить складний. В ідеалі необхідно, щоб штучний матеріал був тотожний до біологічної тканини за механічними й анатомо-фізіологічними властивостями, мав структурно-функціональну відповідність із ділянкою імплантації, не чинив цитотоксичної дії на прилеглі тканини, не порушував гомеостаз організму.



Крім того, для різноманітних клінічних ситуацій необхідно розробляти імплантати з урахуванням цілої низки факторів, що залежать від якості використаного біоматеріалу та чинників організму. У зв'язку з цим, роботи зі створення і впровадження в клініку нових матеріалів тривають.

На сьогоднішній день оптимальне лікування нестабільних метафізарних та метадіафізарних переломів довгих кісток залишається дискусійним. Для лікування цих ушкоджень були запропоновані різноманітні методи однак, для кожного із цих варіантів лікування характерні деякі переваги й недоліки, а також специфіка відносно показань до них.

За своїми фізико-хімічними та механічними властивостями, біологічною інертності вуглець є унікальним імплантаційним матеріалом, використання якого можливо для остеосинтезу при метафізарних та метадіафізарних переломах і є перспективним напрямком наукового пошуку.

Список літератури:

1. Petersen R. Carbon Fiber Biocompatibility for Implants. *Fibers (Basel)*. 2016;4(1):1. doi: 10.3390/fib4010001. Epub 2016 Jan 8. PMID: 26966555; PMCID: PMC4782804
2. Heary RF, Parvathreddy N, Sampath S, Agarwal N. Elastic modulus in the selection of interbody implants. *J Spine Surg* 2017;3(2):163-167. doi: 10.21037/jss.2017.05
3. Filip, N.; Radu, I.; Veliceasa, B.; Filip, C.; Pertea, M.; Clim, A.; Pinzariu, A.C.; Drochioi, I.C.; Hilitanu, R.L.; Serban, I.L. Biomaterials in Orthopedic Devices: Current Issues and Future Perspectives. *Coatings* 2022, 12, 1544. <https://doi.org/10.3390/coatings12101544>
4. Amit Bandyopadhyay, Indranath Mitra, Stuart B. Goodman, Mukesh Kumar, Susmita Bose Improving biocompatibility for next generation of metallic implants, *Progress in Materials Science*, Volume 133, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2022.101053>
5. Vázquez Silva, Efrén & Farfán, Gabriela & Peña-Tapia, Pablo & Jara, Paúl & Moncayo Matute, Freddy Patricio & Vilorio-Ávila, Tony & Vergara, Mary & Andrade-Galarza, Andrés & Pinos-Vélez, Nathalie. (2022). Composites and hybrid materials used for implants and bone reconstruction: a state of the art. 10.22541/au.165036604.47802332/v1
6. Дроботун В.Я. Реабилитация больных с повреждениями плечевого сустава и их последствиями, 1993.-С.91-94.
7. Іванів О.Г. Функціональне лікування переломів проксимального кінця плечової кістки.-Автореф.дис....к.м.н.-Харків, 1998.- 17с.
8. Корж Н.А., Горидова Л.Д., Прозоровский Д.В. Повреждения проксимального отдела плечевой кости у людей пожилого и старческого возраста// *Остеопороз: эпидемиология, клиника, диагностика, профилактика и лечение*.-Харьков: Золотые страницы, 2002.-С.307-314.
9. Корж Н.А., Прозоровский Д.В. О роли восстановления ротационной манжеты плеча при переломах проксимального отдела плечевой кости// *Збірка тез. Всеукр.конф. "Теоретичні та клінічні аспекти травматичної хвороби*.-



Донецьк, 2003.-С.40.

10. Прозоровский В.Ф., Гнедушкин Ю.Н. Лекции по актуальным вопросам ортопедии и травматологии. Заболевания и повреждения плечевого сустава.- Харьков, 1997.-68с.

11. Родичкин В.А. Лечение переломов проксимального конца плечевой кости.-Автореф.дис....канд.мед.наук.-Харьков, 1987.-20с.

12. Тяжелов А.А. Нестабильность плечевого сустава.-Харьков: РИП «Оригинал», 1999.-200с.

13. Flatow E.L., Cuomo F., Maday M.G., Miller S.R., McIlveen S.J., Bigliani L.U. Open reduction and internal fixation of two-part displaced fractures of the greater tuberosity of the proximal part of the humerus// J Bone Joint Surg.-1991.-Vol. 73-A.-N.8.-P.1213-1218.

14. Gerber C. Open reduction and internal fixation of complex fractures of the proximal humerus // J Bone Joint Surg.-1999.-Vol. 81-B.-N6.

15. Gerber C., Scneeberger A., Vinh T. The arterial vascularization of the humeral head: an anatomical study// J Bone Joint Surg.-1990.-Vol. 72-A.-P. 1486-1494.

16. Hoffmeyer P. Переломы проксимальной части плечевой кости со смещением// Margo Anterior.-2001.-N5-6.-P.5-9.

17. Neer C.S., II Shoulder Reconstruction.- Philadelphia: Saunders,1990.-551p.

18. 34 Rockwood C.A., Matsen F.A. The Shoulder.- Philadelphia: Saunders,1990.-1108p.

Abstract. *In traumatology and orthopedics, the understanding of osteosynthesis combines the study of the physical and physiological properties of the human support apparatus and the configuration and material science of implants. The main directions of the development of osteosynthesis are the minimization of surgical interventions, minimal invasiveness, reduction of blood loss and duration of operations.*

Treatment of bone fractures is an urgent medical problem that has important social significance. The quality and speed of healing of a bone fracture depends on the area of the traumatic injury, the stability of fixation, the size of the interfragmentary gap, the state of the body and other factors.

The use of carbon-carbon composite material for osteosynthesis is particularly promising in solving this problem.

The idea of choosing carbon as a material for the manufacture of medical products is based on its unique natural properties - high biological compatibility.

Key words: *osteosynthesis, humeral neck fractures, surgical treatment, materials; carbon-carbon composite material (CCCM)*

Chorniy V.V
Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University