

## КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ НА ОСНОВІ ПІРОВУГЛЕЦЮ ДЛЯ ЕНДОПРОТЕЗУВАННЯ

**\*Гурін І.В., \*\*Тяжелов О.А., \*\*Тарасенко В.І., \*Гуріна Є.В.**

*\*Інститут фізики твердого тіла, матеріалознавства та технологій  
Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» НАН  
України,*

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

Традиційно для лікування дефектів кісток, переламів, виготовлення імплантів для заміщення елементів суглобів тощо використовували метали. В останні часи спектр матеріалів для ендопротезування доповнився керамічними матеріалами, полімерами та вуглецевими матеріалами. Серед широкого ряду матеріалів особливий інтерес викликає піролітичний вуглець (піровуглець), отриманий із газової фази шляхом осадження під час піролізу вуглеводневих газів. Зазвичай, при виготовленні імплантів для ендопротезування піровуглець використовують у якості покриттів на графітових або металевих імплантах[1-3] у якості антифрикційного матеріалу та матеріалу із високою біосумісністю[3]. При цьому у разі осадження досить товстого шару піровуглецю, принципово можливо створення невеликого за розмірами суцільного імпланту із цього матеріалу. Однак, отримання таких заготовок суттєво обмежено за габаритами, а також такі матеріали неодмінно матимуть значну анізотропію властивостей та значну крихкість.

Основною метою досліджень було створення власних матеріалів, які б поєднували усі переваги піровуглецю та були позбавлені недоліків, традиційно йому присутніх.

Матеріал та методи. Для виготовлення матеріалу для імплантів використовували TG-CVI методи виготовлення вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів (ВВКМ). ВВКМ з'явилися наприкінці 1958- початку 1960 років. Вони представляють собою графітову чи вуглецеву матрицю, армовану вуглецевими волокнами та мають високу механічну міцність, стійкість до механічних та термічних ударів, хімічну та радіаційну стійкість та ряд інших унікальних властивостей. В ННЦ ХФТІ термоградієнтні газофазні методи (TG-CVI) та обладнання для виробництва ВВКМ були розроблені у 1960-1962 роках для потреб атомної енергетики та ракетної техніки. Суть методу полягає в наступному: сформований попередньо каркас із вуглецевих волокон нагрівають в потоці вуглеводневого газу(метану) до температури початку піролізу (900-1000°C). Метан (CH<sub>4</sub>) під дією температури розпадається на піровуглець та водень. Режимі процесу обирають таким чином, щоб процес осадження піровуглецю відбувався на поверхні волокон и ведуть до моменту, коли піровуглець максимально заповнить порожнини між волокнами. Таким чином, в результаті процесу, отримують суцільний матеріал (ВВКМ), в якому матриця сформована піровуглецем та армована вуглецевими волокнами. Керуючи просторовим розташуванням волокон в армуючому каркасі можливо створювати композити із різними механічними властивостями. Виготовлення таких каркасів здійснювали вручну із використанням віскозних вуглецевих волокон та тканин. Для виготовлення ендопротезів довгих кісток виготовляли трубчасті або стрижневі каркаси методом намотки. Для плоских елементів використовували методи пошарової викладки. Таким чином створювали матеріал, подібний за армуючою стриктурою до структури та профілю кістки. За своїми фізико-механічними властивостями отриманий матеріал також є близьким до властивостей інтактної кістки. Так, питома вага матеріалу знаходиться на рівні 1,4-1,8 г/см<sup>3</sup>, межа міцності (для стрижневої структури) на згін – 80-130 МПа, меза міцності на стиск – 100-400 МПа, модуль пружності 10-20 ГПа. Розроблена методика дозволяє виготовляти ендопротези будь-яких необхідних розмірів. Зовнішній



вигляд деяких ендопротезів наведено на рисунку. Розроблений матеріал пройшов весь комплекс необхідних досліджень, було отримано необхідні дозволи на його використання. Розроблена методика дозволяє виготовляти ендопротези та імпланти із розробленого матеріалу різної форми та конструкції[4-8].

Наступним кроком у дослідженнях була розробка методики нанесення додаткового шару кристалічного піровуглецю безпосередньо на поверхню розроблених імплантів. Для перевірки ефективності методики, імпланти із покриттям та контрольні імпланти у вигляді стрижнів  $\varnothing 2$  мм імплантували в дефекти тіл хребців лабораторних щурів. Через 15, 30 та 90 днів проводили гістологічні та гістоморфометричні дослідження. Через 15 днів по периметру обох матеріалів була виявлена кісткова та грануляційна тканини у співвідношенні  $\frac{1}{2}$ , через 30 та 90 днів вміст кісткової тканини на границі імплантів із піровуглецевим покриттям був у 1,4 рази більший ніж у контрольних імплантів[9].

#### Результати та висновки.

Розроблено нові матеріали для ендопротезування. Експериментально підтверджено, що розроблені матеріали є біосумісними, не порушують процес регенерації кісткових тканин, не викликають запальних реакцій. Показано, що використання додаткового покриття їх поверхні піровуглецем суттєво покращують остеointегральні якості ендопротезів.

Показано, що застосування для остеосинтезу вуглець-вуглецевих імплантів дозволяє досягти такої міцності з'єднання кісткових відламків, яку можна порівняти з міцністю неушкодженої кістки. Це дає змогу відновити навантаження на оперовану кінцівку в найближчому післяопераційному періоді навіть при зниженні міцності кістки (остеопорозу, остеопенічні стани, синдром "шокової кістки" тощо) і повністю вилучити використання зовнішньої іммобілізації, що особливо важливо у літніх хворих, які мають певні обмеження рухової активності та зниження м'язової сили ще до травми.

Показано, що механічні властивості матеріалів є близькими до властивостей інтактної кістки, що дозволяє ефективно їх використовувати при лікуванні пацієнтів із яскраво вираженим остеопорозом.

Розроблені методи виготовлення матеріалів дозволяють виготовляти ендопротези любых необхідних розмірів та форми.

#### Література.

[J Orthop Surg Res.](#) 2016; 11: 155.

[JSES Open Access.](#) 2019 Mar; 3(1): 37–42.

<https://www.integralife.com/file/general/1453795862.pdf>

Патент UA58829 А. Ендопротез плечового суглоба.

Патент UA63670А. Спосіб остеосинтезу переломів довгих кісток та пристрій для його здійснення.

Патент UA16400. Спосіб заміщення суглобового кінця довгої кістки.

Патент UA16399. Спосіб заміщення сегментарного дефекту довгої кістки.

Патент UA111143 Імплантат-ендопротез для заміщення дефекту нижньої щелепи при відсутності гілки тіла і суглобового відростка.

Popov A; Ashukina N; Maltseva V; Gurin I; Ivanov G / HISTOMORPHOMETRIC EVALUATION OF BONE REPAIR AFTER CARBON/CARBON COMPOSITE IMPLANTATION IN LUMBAR VERTEBRAE IN RATS // GEORGIAN MEDICAL NEWS No 11 (296) 2019© GM – P117-122