

## АНАЛІЗ ЗАМІЩЕННЯ КІСТКОВИХ ДЕФЕКТІВ КАЛЬЦІЙ-ФОСФАТНИМИ БІОМАТЕРІАЛАМИ ПРИ ЗАХВОРЮВАННЯХ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ

Проаналізовано сучасні можливості лікування пацієнтів з заміщенням імплантаційними біоматеріалами кісткових дефектів, що утворились внаслідок захворювань та новоутворень кісток кінцівок. Висвітлені основні види сучасних кальцій-фосфатних біоматеріалів на основі гідроксиапатиту, трикальційфосфату та біоактивного скла, їх комбінації з іншими матеріалами, полімерами, мікроелементами та біологічними факторами, особливості застосування, вплив на репаративний остеогенез. Перспективним є подальший розвиток нанесення покриттів, що містять кальцій-фосфатні матеріали, на поверхню металевих імплантатів. Пошук ефективного поєднання матеріалів з мікроелементами може мати вплив одразу на кілька їх якостей: проти-мікробні, остеointegraційні, протипухлинні та інші. Серед вже відомих композитних полімерних матеріалів актуальний пошук оптимальних співвідношень з кальцій-фосфатними матеріалами, з метою покращення остеointegraційних, механічних та сорбційних властивостей. Біологічними чинниками, які застосовуються в поєднанні з керамічними біоматеріалами, і значно підвищують їх ефективність, є плазма збагачена тромбоцитами, кістковий мозок та аутокістка.

**Ключові слова:** кальційфосфатні матеріали, гідроксиапатит, біоактивне скло.

### ВСТУП

Проблема заміщення дефекту кістки при лікуванні захворювань кісток та новоутворень кісток, пошук для цього оптимальних матеріалів є актуальною в ортопедії-травматології, онкохірургії, щелепно-лицьовій хірургії, нейрохірургії. Деструктивне ураження з порушенням цілості та структури кістки виникає при таких захворюваннях, як пухлини кісток, остеопороз із патологічним переломом, фіброзна дисплазія, солітарна та аневризмальна кісти кістки, остеонекроз та кістоподібна перебудова, перелом кістки після закріплення імплантату чи протеза суглоба та інші порушення щільності кістки, а також наслідки цих захворювань. Потребує подальшого вивчення біоінженерія різних біологічних, синтетичних матеріалів та конструкцій для заміщення уражених ділянок кісткової тканини та суглоба, після лікування захворювань та новоутворень кісток

або їх наслідків [1,2,3]. Імплантаційні матеріали та конструкції повинні бути біосумісним, мати остеоіндуктивні, а краще остеокондуктивні властивості не викликати алергічних, токсичних, антигенних реакцій, нагноєння, металозу [4,5]. Будь-який матеріал, який зазнає певних поверхневих реакцій, при імплантації в тіло, що призводить до утворення гідроксилкарбонат апатиту, який відповідає за формування твердого зв'язку з тканинами називається біологічно активним матеріалом (Kokubo, 1991). Є роботи, присвячені дослідженням можливостей пластики кісток матеріалами, які подібні за хімічним складом з неорганічним компонентом кістки. Такими є біокерамічні матеріали [6]. У 80-х роках минулого століття значний інтерес багатьох дослідників, як пластичний матеріал, викликала корундова кераміка [7]. Дані останніх досліджень свідчать про ефективне застосування кальцій-фосфатних імплантатів на основі гідроксиапатиту (ГА), трикальційфосфату (ТКФ) та біоскла при кістковій патології в стоматології, нейрохірургії, ортопедії-травматології та в онкохірургії [39-45]. Сукупність фізико-хімічних властивостей імплантаційних матеріалів створює значний простір для пошуку оптимальних матеріалів для інженерії кісткової тканини.

Мета дослідження: покращення результатів пластики кісткових дефектів у хворих на захворювання кісток кінцівок та їх наслідків, завдяки удосконаленню імплантаційних матеріалів та методик їх застосування.

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Найбільш ефективними є біокомпозити, що містять компоненти кісткового матриксу (колаген та ін.) і фактори росту. Звісно, найкращим пластичним матеріалом для заміщення дефектів кістки може бути композиційний пористий біоматеріал, до складу якого входять речовини, здатні стимулювати процеси регенерації кісткової тканини і має часткову біодеградацію [8, 9]. В сучасній ортопедії для заміщення кісткових дефектів застосовують різні кістково-пластичні матеріали як біологічного (ауто-аллотрансплантат)

так і синтетичного походження (корундова, гідроксиапатитна і кальцій-фосфатна кераміка (КФК)). До найбільш відомих матеріалів в замінній хірургії належить колаген, гідроксиапатит, біокераміка, декальцінований кістковий матрикс, полігліколід і імплантати на основі вуглецю, які частіше застосовують в хірургії хребта [3]. Застосування в ортопедії керамічних матеріалів на основі ГА та ТКФ і біоскла ґрунтується на кристалохімічній та хімічній ідентичності цих матеріалів з мінеральним складом кістки, відсутністю імунних реакцій на ці речовини, їх максимальній біосумісності, включенні в процеси метаболізму кістки і стимуляції остеогенезу [8]. Підвищення пористості кальцій-фосфатного матеріалу та додавання ТКФ до синтетичного ГА (композитна синтетична кераміка) покращують процеси кісткової регенерації навколо та у середині імплантату і прискорюють його біодеградацію [10]. В окремих експериментальних дослідженнях аломатеріалів, автори вказують на ефективне застосування гідроксиапатиту, насиченого факторами росту [11], глікозаміногліканами [12, 13]. Гідроксиапатитну кераміку ефективно використовували, насичену сріблом [14], левогану селеном [15,16], антибіотиками [17], у вигляді напилення ГА на ніжки ендопротезів [18,19]. Перевагами КФК є збереження в стерильному вигляді, а також відсутність запальних ускладнень після його застосування. Хоча керамічний матеріал на основі ГА та ТКФ біосумісний і добре біодеградує в порожнині кістки, разом з тим, цей матеріал слабо витримує механічні навантаження. З недоліків усіх видів КФК виділяють крихкість при вигинанні та відсутність остеоіндуктивних властивостей. Дослідження впливу різного відсотку КФК на резорбцію полімера і репаративний остеогенез може бути перспективним у вирішенні цих проблем.

Іноді замість металевих штифтів і шурупів використовують штифти з біодеградуючих матеріалів (полігліколід та ГА), так як в подальшому не потрібно їх вилучення, що дозволяє уникнути можливих запальних процесів при повторних втручаннях в зоні імплантації [20].

Перспективними є композитні керамічні матеріали на основі біоскла (L.L.Hench, R.J.Splinter, W.C.Allen, T.K.Greenlee, 1971; Oonishi et al., 1997) [21, 22, 23], яке остеобласти та ферментні системи організму використовують для інженерії кісткової тканини різноманітної локалізації та величини. Біоактивне скло - це група поверхнево реактивних склокерамічних біоматеріалів (45S5, 58S, 70S30C, S53P4 та інші), що мають багато регульованих фізико-хімічних якостей: склад,

пористість, щільність, розмір, міцність [21-23]. Міцність біоскла і біосіталів достатня для застосування їх в кістковій хірургії.

Найбільш значущим параметром для практичного використання кісткових кальцій-фосфатних цементів є показник кислотності (рН), який має знаходитися в межах від 6.5 до 7.5, а локальний рН в зоні відновлення зміщений вже в лужну зону, близько 7 од [24].

## РЕЗУЛЬТАТИ

При імплантації пористої композитної кераміки з ГА (кристалічна фаза) та трикальцій-фосфатів (аморфна фаза) у м'язи кролів, формування кісткової тканини було виявлено через 6 міс. лише при відношенні компонентів 7: 3. Інші зразки, у яких вищевказані співвідношення складають 2: 8 та 0:10, виявило нездатним стимулювати ектопічне кісткоутворення. Ці імплантати резорбувались занадто швидко і не забезпечували необхідний каркас для остеогенезу [25]. За даними К. Kurashina, 2005 р., [39] макропористість структури та її збереження після імплантації відіграють важливу роль в індукуванні остеогенезу. Це підкреслюється тим фактом, що утворення кістки відзначалося лише всередині пор. Інші дослідники також підтверджують важливість макропористої структури імплантату для активації остеогенезу.

Експериментально було підтверджено (Продан А.И. та ін. 2006 р.), що модуль пружності композитного матеріалу найбільш близький до модуля кортикальної кістки, якщо він містить 80-90% кісткового цементу і співвідношення ГА до ТКФ - 2: 8. Механічні випробування показали, що найбільшу міцність має матеріал в складі 80% кісткового цементу, 4% ГА і 16% ТКФ. Порівняльне експериментальне дослідження міцності інтактних тіл хребців і тіл хребців через три місяці після вертебропластики з кістковим цементом (І група) і новим композитним матеріалом (ІІ група) показало, що композитний матеріал забезпечує більш високу міцність, востання кісткової тканини в кераміку, яка резорбується і щільну остеointegraцію [26]

Зустрічаються поодинокі роботи по металоостеосинтезу та заміщенню композитом на основі б-ТКФ імпресійних кісткових дефектів при монокондилярних переломах проксимального епіметафіза великогомілкової кістки [27] та при лікуванні несправжніх суглобів стегнової та великогомілкової кістки у дітей [28].

Філіпенко В. А. та співавтори, 2008р., [29] досягли покращення кісткової регенерації в експериментально-клінічному дослідженні при

ревізійному ендпротезуванні кульшового суглоба, застосовуючи аутопластику вертлюгової западини в комбінації з біфазною керамікою ТКФ/ГА (60/40%) з наскрізними мікро- (до 10 мкм) і макропорами (350-600 мкм).

В роботах [30,31] описано застосування суміші ГА і колагену в складі композитних полімерних матеріалів для стимуляції росту кісткового регенерату. Відзначено, що дисперсний порошок ГА має остеоіндукуючий ефект, який посилюється колагеновим компонентом і використовується як середовище розподілу.

С. Т. Зацепін [1] використовував різні варіанти ТКФ при заміщенні кісткових порожнин після видалення доброякісних пухлин: гранули діаметром 0,4-2 мм, з частки 250-400 мкм, і у вигляді блоків. Як показали дослідження, ТКФ не має остеоіндуктивних якостей, але згідно зі спостереженнями, на його місці утворюється остеоїд. Всупереч описаного позитивного ефекту у вигляді стимуляції кісткоутворення при використанні керамічного матеріалу на основі ГА при кістково-пластичних операціях, в деяких випадках спостерігається лімфогістіоцитарна інфільтрація в області імплантації матеріалу, а також утворення фіброзної сполучної тканини замість повноцінної кісткової [38, 39].

В експериментальних роботах [16, 32] було підтверджено, що біоактивність біологічного ГА більш виражена, ніж синтетичного. З досліджень Путляєва В. І. [33], Schopper С. [34] відомо, що при пластиці керамічним матеріалом на основі ГА та ТКФ, репаративний остеогенез відбувається за рахунок кальцій-фосфатного обміну на рівні плазми крові. При пластиці біосклом і біокомполімерним матеріалом обмін відбувається на клітинному рівні, тобто біоскло деградує за рахунок макрофагів і остеокластів, а побудова нової кістки відбувається остеоцитами і остеобластами. Утворився біокерамічний комплекс міцніший, ніж при пластиці керамічним матеріалом на основі ГА та ТКФ, але має хаотичну структуру.

Сергеевою Н. С. [35] були проведені дослідження за допомогою МТТ-тесту динаміки зростання культури фібробластів людини на пористих гранульованих кальцій-фосфатних матеріалах з наноструктурованою поверхнею трьох зразків, синтезованих по керамічній технології: бета-ТКФ, пірофосфат кальцію і біфазне з'єднання бета-ТКФ / пірофосфат кальцію (з співвідношенням 40/60%) і трьох типів зразків, синтезованих за технологією кісткових цементів на основі аморфного фосфату кальцію, з додаванням гідроксиапатиту, бета-трікальційфосфата і карбонату кальцію. Показано, що з 5 з 6 матеріалів

не володіють гострою цитотоксичністю, мають прийнятні матриксні властивості, забезпечуючи проліферацію на своїй поверхні фібробластів з формуванням через 3-4 тижні тривимірних структур, що складаються з клітин і гранул.

Про гістоморфометрію в дослідженні аутокістки, алокістки і біоскла повідомляє Dorea Н.С. [36], а Григоровський В. В. [37] повідомляє про вивченні морфологічні особливості біологічних процесів в локусах імплантації КФМ, які проводяться з метою пластики залишкових порожнин після видалення різних патологічних вогнищ у пацієнтів з ортопедичною патологією.

Активно вивчається склад і властивості нових матеріалів на основі біоактивного скла та сіталів. Надається характеристика (механічні властивості) і склад склокристалічних матеріалів медичного призначення [40, 41]. В експерименті вони виявляють менш інтенсивну запальну реакцію і є значно більш ефективним, ніж ГА, як остеостимулюючий фактор. Ключовим елементом, при кристалізації ГА, є кремній, який входить до складу біоскла і забезпечує його високу біологічну активність. Гідроліз біоскла в міжтканинній рідині призводить до утворення желеподібного шару кремнієвої кислоти на поверхні імплантату. Зростання шару гідроксиапатиту відбувається шляхом тяжіння до гідроксильних груп кремнієвої кислоти з міжтканинної рідини іонів кальцію, а потім фосфат-іонів.

Значний інтерес дослідників викликає новий композитний біоматеріал на основі ГА, ТКФ і біоскла, який здатний біодеградувати та нести адекватні механічні навантаження, який був розроблений, синтезований в Інституті проблем матеріалознавства ім. І. М. Франкевича НАН України групою вчених, під керівництвом В. А. Дубка. Для заповнення кісткових дефектів використовувалися пористі гранули «Синтекість» діаметром 5-10 мм, пористість 40-58%, частка пор розміром 200-700 мкм - більше 30%. Використання кераміки, обробленої антибіотиком або хіміопрепаратом, дозволяє, на думку В. А. Дубка, досягти їх тривалої дії в місці ураження [42, 43, 44].

Авторами показано перевагу лікування 70 пацієнтів з використанням гідроксиапатиту в поєднанні з плазмою, збагаченої тромбоцитами [45], в порівнянні з контрольною групою, де застосували ГА з фізіологічним розчином [Okuda К., 2005].

## ВИСНОВКИ

Перспективним у даному напрямку, на наш погляд, є подальший розвиток нанесення по-

криттів, що містять кальцій-фосфатні матеріали з заданими властивостями на поверхню металевих імплантатів, а також вивчення їх сорбційних властивостей як носіїв препаратів. Подальший пошук найбільш ефективного поєднання матеріалів з мікроелементами може мати вплив одразу на кілька якостей імплантатів: протимікробні, остеоінтеграційні, протипухлинні та інші. Серед вже відомих полімерних матеріалів актуальним є пошук оптимальних співвідношень з кальцій-фосфатними матеріалами, що ставить за мету покращення остеоінтеграційних та механічних властивостей імплантатів. Біологічними чинниками, які застосовуються в поєднанні з керамічними біоматеріалами, і значно підвищують їх ефективність, є плазма збагачена тромбоцитами, кістковий мозок та аутокістка. Таким чином, подальший розвиток цього напрямку призведе до появи нових композиційних імплантатів, які будуть мати оптимальні механічні та матриксні властивості для інженерії кісткової тканини.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Зацепин С. Т. Костная патология взрослых: Руководство для врачей / С. Т. Зацепин. — М.: Медицина, 2001. — 640 с.
2. Проценко В. В. Использование гидроксилатапата для замещения дефектов костей после удаления новообразований / В. В. Проценко, Б. А. Толстопятов, А. Г. Дедков (и др.) // Ортопедия, травматология и протезирование. — 1998. — № 3. — С. 108-110.
3. Тяжелов О. А. Экспериментально-теоретическое обоснование новых технологий остеосинтеза и замещение дефектов костей имплантатами на основе углерода / О. А. Тяжелов, В. И. Тарасенко, И. В. Гурин (и др.) // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2008. — № 4. — С. 41-46.
4. Кораго А. А. Введение в биоминералогия / Кораго А. А. — СПб.: Недра, 1992. — 286 с.
5. Корж Н. А. Имплантационные материалы и остеогенез. Роль оптимизации и стимуляции в реконструкции кости / Н. А. Корж, Л. А. Кладченко, С. В. Малышкина // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2008. — № 4. — С. 5-14.
6. Баринов С. М. Биокерамика на основе фосфатов кальция / С. М. Баринов, В. С. Комлев. — М.: Наука, 2005. — 204 с.
7. Керамопластика в ортопедии и травматологии / А. А. Корж, Г. Х. Грунтовский, Н. А. Корж, В. Т. Михайлив. — Львов, Свит. — 1992. — 112 с.
8. Григоровский В. В. Патоморфологические изменения, отражающие биологические процессы в кальций-фосфатных имплантатах, при пластике остаточных полостей в костях человека / В. В. Григоровский, Р. В. Лучко, Л. А. Зотиков // Вестник травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. — 2008. — № 1. — С. 82-88.
9. Лаврищева Г. И. Морфологические и клинические аспекты репаративной регенерации опорных органов и тканей / Г. И. Лаврищева, Г. А. Оноприенко. — М.: Медицина, 1996. — 207 с.
10. Корж Н.А. Репаративна регенерація кістки: сучасний погляд на проблему. Стадії регенерації / Н.А. Корж, Н.В. Дедух // Ортопедія, травматологія і протезування. — 2006. — №1. — С. 76-84.
11. Болонкин В. П. Оптимизация костной пластики в боковых отделах верхней челюсти / В. П. Болонкин, И. В. Болонкин, П. А. Рыбаков, Т. В. Меленберг // Стоматология. — 2008. — № 5. — С. 44-45.
12. Лекишвили М. В. Новые биопластические материалы в реконструктивной хирургии / М. В. Лекишвили, А. Ф. Панасюк // Вестник РАМН. — 2008. — № 9. — С. 33-36.
13. Махова Ф. М. Сравнительная эффективность применения отечественных остеопластических материалов “Биоматрикс” и “Остеоматрикс” в комплексном лечении пародонта : автореф дисс. на соискание научн. степени канд. мед. наук : спец.14.00.21 / Ф. М. Махова. — Москва, 2008. — 18 с.
14. Дедух Н. В. Регенерация костной раны при имплантации гидроксилатапата обогатщенного серебром / Н. В. Дедух, С. В. Малышкина, Фархан Махмуд // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2001. — № 2. — С. 19-22.
15. Ивченко Д. В. Некоторые свойства и результаты клинических испытаний композитного материала «Остеоапатит керамический», легированного селеном / Д. В. Ивченко, В. К. Ивченко, В. И. Лузин (и др.) // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2008. — № 4. — С. 15-18.
16. Івченко В. К. Використання біологічного гідроксилатапату у хірургічному лікуванні хворих на пухлиноподібні захворювання та доброякісні пухлини кісток / В. К. Івченко, А. П. Кризь-Пугач, А. В. Івченко (та ін.) // Вісник ортопедії, травматології та протезування. — 2004. — С. 12-15.
17. Корж Н. А. Применение имплантационных материалов в качестве носителей антибактериальных препаратов / Н. А. Корж, В. А. Радченко, В. А. Филиппенко (и др.) // Вісник ортопедії, травматології та протезування. — 2000. — № 1. — С. 93-99.
18. Гайко Г. В. Пористое титановое и титан-гидроксипатаптитное покрытие для безцементного эндопротеза тазобедренного сустава (экспериментальное исследование) / Г. В. Гайко, В. М. Подгаецкий // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2008. — № 4. — С. 47-53.
19. Перспективи підвищення функціональних характеристик українського ендопротеза кульшового суглоба за рахунок застосування наноматеріалів нанотехнологій / Г. В. Гайко, В. М. Підгаецький, О. М. Сулима, В. А. Дубок, В. В. Лашнева // Вісник ортопедії, травматології та протезування. — 2010. — № 4. — С. 5-9.
20. Васюк В. Л. Использование биоматериала полигликолида для остеосинтеза переломов костей / В. Л. Васюк, А. Г. Дудко, Г. Е. Дудко // Ортопедия,

- травматология и протезирование. – 2008. – № 4. – С. 28-30.
21. Hench L.L. Mechanisms at the Interface of Ceramic Prosthetic Materials / L.L.Hench, R.J.Splinter, W.C.Allen, T.K.Greenlee, Jr.Bonding // J.Biomed. Mater.Res. –1971. –Vol.2. – P. 117-141.
  22. Hench L.L. The story of Bioglass / L.L.Hench // J.Mater.Sci: Mater.Med. –2006. –Vol.17. – P. 967-978.
  23. Hench L.L. Bioglass: A Short History and Bibliography / L.L.Hench, June W. Hench and D.C. Greenspan // J. Aust. Ceram. Soc. –2004. –Vol.40. – P. 1-42.
  24. Новые кальцийфосфатные цементы на основе трикальцийфосфата / В. С. Комлев, И. В. Фадеева, А. Н. Гурин, Л. И. Шворнева, Н. В. Бакунова, член кор. РАН С. М. Баринов // Доклады Академии Наук. –2011. – Том 437, № 3. – С. 1–4.
  25. Zhiyong Zhang. Osteoinduction with HA/TCP Ceramics of Different Composition and Porous Structure in Rabbits / Zhiyong Zhang, Hiroshi Kurita 1, Hiroichi Kobayashi 1 and Kenji Kurashina // Oral Science International. – November 2005. – P.85-95.
  26. Продан А.И. Биомеханическое обоснование оптимального состава композитного материала для чрескожной вертебропластики / А.И. Продан, Г.Х. Грунтовский, А.И. Попов, М.Ю. Карпинский, И.А. Суббота, Е.Д. Карпинская // Хирургия позвоночника. – 2006. – №2. – С. 68–74.
  27. Гилев, М.В. Хирургическое лечение внутрисуставных переломов костей конечностей с применением биокомпозита на основе Б-трикальцийфосфата / М.В. Гилев, Ф.Н. Зверев, Е.А. Волокитина, Ю.В. Антошади // Материалы научно-практической конференции молодых ученых Северо-Западного Федерального округа «Актуальные вопросы Травматологии и Ортопедии». – Санкт-Петербург, 201. – С. 17.
  28. Левицкий А. Ф. Хирургічне лікування порушень репаративного остеогенезу довгих кісток у дітей із використанням пластин LCP та керамічного матеріалу на основі трикальційфосфату / А. Ф. Левицкий, О. В. Бебешко, Д. В. Головатюк, І. С. Черняк // Травма. – 2011. – Т.12. – N 2. – С.21-23.
  29. Филипенко В. А. Обоснование пластики дефектов вертлюжной впадины разнообразными кальций-фосфатной керамики при цементном реэндотепротезировании с помощью трехмерной модели тазобедренного сустава / В. А. Филипенко, З. М. Мителева, З. З. Зыман (и др.) // Ортопедия, травматология и протезирование. – 2008. – № 4. – С. 35-40.
  30. Берченко Г. Н. Сравнительное экспериментально-морфологическое исследование влияния некоторых используемых в травматолого-ортопедической практике кальций-фосфатных материалов на активизацию репаративного остеогенеза / Г. Н. Берченко, Г. А. Кесян, Р. З. Уразгильдеев, [и др.] // Бюллетень Восточно-сибирского научного центра Сибирского отделения РАМН. – 2006. – № 4. – С. 327-332.
  31. Берченко Г. Н. Активация репаративного остеогенеза с помощью биоактивных резорбируемых материалов – кальций-фосфатной биокерамики и комплексного препарата коллапан / Г. Н. Берченко, З. И. Уразгильдеев, Г. А. Кесян [и др.] // Ортопедия, травматология и протезирование. – 2000. – № 2. – С. 96.
  32. Сулима В. С. Використання матеріалів на основі природного гідроксилапатиту для заміщення інфікованих дефектів кісток (експериментальне дослідження) / В. С. Сулима // Галицький лікарський вісник. – 2002. – Т. 9, № 3. – С. 252-254.
  33. Путляев В. И. Новое поколение кальцийфосфатных биоматериалов: роль фазового и химического составов / В. И. Путляев, Т. В. Сафронова // Стекло и керамика. – 2006. – № 3. – С. 30-33.
  34. Schopper C. HA/TCP compounding of a porous CaP biomaterial improves bone formation and scaffold degradation – a long-term histological study / C. Schopper, F. Ziya-Ghazvini, W. Goriwoda, [et al.] // J. Biomed. Mater. Res. Part B: Appl. Biomater. – 2005. – Vol. 74-B. – P. 458-467.
  35. Сергеева Н. С. Исследование роста фибробластов человека in vitro на пористых наноструктурированных гранулах из кальцийфосфатных материалов / Н. С. Сергеева, И. К. Свиридова, В. К. Иванов [и др.] // Вестник травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. – 2008. – № 4 – С. 74-78.
  36. Dorea H. C. Evaluation of healing in feline femoral defects filled with cancellous autograft, cancellous allograft or Bioglass Vet Comp / H. C. Dorea, H. D. McLaughlin Cantwell, [et al.] // Orthop. Traumatol. – 2005. – Vol. 18, No 3. – P. 157-168.
  37. Григоровский В. В. Морфологічні особливості процесів організації, резорбції та остеогенезу в місцях імплантації керамічного гідроксилапатиту після хірургічного видалення осередків пухлиноподібних уражень та пухлин кісток / В. В. Григоровский, А. П. Крысь-Пугач, Р. В. Лучко // Ортопедия, травматол. и протез. – 2003. – No 4. – С. 13-20.
  38. Каназава Т. Неорганические фосфатные материалы / Т. Каназава; пер. с англ. – Киев, «Наукова думка», 1998. – 298 с.
  39. Дубок В. А. Синтез, свойства и применение остеотропных заменителей костной ткани на основе керамического гидроксилатапата / В. А. Дубок, Н. В. Ульянович // Ортопедия, травматология и протезирование. – 1998. – No 3. – С. 26-30.
  40. Абдуллаев Ш. Ю. Стеклокристаллические апатит-содержащие материалы медицинского назначения / Ш. Ю. Абдуллаев // Стоматология. – 1996. – № 5. – С. 57-58.
  41. Мاستрюкова Д. Л. Стеклокерамика с регулируемой порой вой структурой для медицины / Д. Л. Мاستрюкова, Б. И. Белецкий, О. В. Полухина // Стекло и керамика. – 2007. – № 4. – С. 23-26.
  42. Проценко В. В. Нові підходи до лікування хворих на гігантоклітинну пухлину кістки (експериментально-клінічне дослідження): автореф. дис. ... д. мед. н.: 14.01.07 / В. В. Проценко; Ін-т

- експерим. патології, онкології і радіобіології ім. Р. Є. Кавецького НАН України. — К., 2010. — 38 с.
43. Розенфельд Л. Г. Биоактивный керамический наноккомпозит син-текстур и перспективы его применения для пластики костной ткани / Л. Г. Розенфельд, В. А. Дубок, А. Б. Брик, А. В. Шинкарук // Мистецтво лікування. — 2008. — № 50 (4). — С. 98-71.
44. Проценко В. В. Репаративний остеогенез в місці імплантації матеріалу на основі біоактивного скла — біоккомпозиту / В. В. Проценко, Л. О. Зотіков // Вісник ортопедії, травматології та протезування. — 2010. — № 2. — С. 62-66.
45. Okuda K. Platelet-Rich Plasma Combined With a Porous Hydroxyapatite Graft for the Treatment of Intra-bony Periodontal Defects in Humans: A Comparative Controlled Clinical Study / Dr. Kazuhiro Okuda, Hideaki Tai, Kiyoshi Tanabe, Hironobu Suzuki, Tadashi Sato Tomoyuki, Kawase Yoshinori Saito, Larry F. Wolff, Hiromasa Yoshiex // J. of Periodontology. — June 2005. — Vol. 76, №6. — P. 890-898. <https://doi.org/10.1902/jop.2005.76.6.890>.

*А. А. Бурьянов<sup>1</sup>, В.С. Черный<sup>1</sup>, Проценко В.В.<sup>2</sup>, Шаповалов В.С.<sup>1</sup>, Кусяк В.А.<sup>1</sup>*

*1 Национальный медицинский университет им. А.А. Богомольца, Киев, Украина  
2 ГУ «Институт травматологии и ортопедии НАМН Украины»*

#### **Анализ замещения костных дефектов кальций-фосфатными биоматериалами при заболеваниях костной ткани**

Проанализированы современные возможности лечения пациентов с замещением имплантационными биоматериалами костных дефектов, которые образовались в результате заболеваний и новообразований костей конечностей. Освещены основные виды современных кальций-фосфатных биоматериалов на основе гидроксиапатита, трикальцийфосфата и биоактивного стекла, их комбинации с другими материалами, полимерами, микроэлементами и биологическими факторами, их свойства, особенности применения, влияние на репаративный остеогенез. Перспективным является дальнейшее развитие нанесения покрытий, содержащих кальций-фосфатные материалы с заданными свойствами на поверхность металлических имплан-

татов. Поиск эффективного сочетания материалов с микроэлементами может влиять сразу на несколько их свойств: противомикробные, остеоинтеграционные, противоопухолевые и другие. Среди уже известных полимерных материалов актуален поиск оптимальных соотношений их с кальций-фосфатными материалами, для улучшения остеоинтеграционных, механических и сорбционных качеств. Биологическими факторами, которые применяются в сочетании с керамическими биоматериалами, и значительно повышают их эффективность, является плазма обогащенная тромбоцитами, костный мозг и аутокость.

**Ключевые слова:** кальцийфосфатные материалы, гидроксипапатит, биоактивное стекло.

*О.А. Burianov<sup>1</sup>, V.S. Chorny<sup>1</sup>, Protsenko V.V.<sup>2</sup>, Shapovalov V.C.<sup>1</sup>, Kusak V.A.*

*1 Bohomolets National Medical University, Kiev, Ukraine  
2 SD "Institute of Traumatology and Orthopedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine".*

#### **The analysis of the replacement of bone defects with calcium phosphate biomaterials in the diseases of bone tissue**

The article analyzes modern possibilities of replacing bone defects with implantable biomaterials in the treatment of patients with bone defects, as a result of diseases and neoplasms of the limb bones and their consequences. The main types of modern calcium-phosphate biomaterials are based on hydroxyapatite, tricalcium phosphate and bioactive glass, their combinations with other materials, polymers, trace elements and biological factors, their properties, peculiarities of their application, influence on reparative osteogenesis. Promising is the further development of coatings containing calcium-phosphate materials with given properties on the surface of metallic implants, the study of their sorption properties. The search for an effective combination of materials with trace elements can have an immediate effect on such properties: antimicrobial, osteointegrating, antitumor and others. Among the already known polymeric materials, there is a need to search for optimal compositions with calcium-phosphate materials, in order to improve osteointegration and mechanical properties close to bone tissue. The biological factors that are used in conjunction with ceramic biomaterials and significantly increase their efficacy are the plasma enriched with platelets, bone marrow and autoserum.

**Key words:** calcium phosphate materials, hydroxyapatite, bioactive glass.