

З.Р. Ульберг¹, Н.О. Горчакова², І.С. Чекман²¹Інститут біологічної хімії імені Ф.Д. Овчаренка Національної академії наук України, Київ²Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, Київ

Біоміметика та біоміметичні матеріали: медико-соціальний аспект

Узагальнено дані літератури та власні дослідження щодо фізіологічних, фармакологічних і токсикологічних властивостей біоміметичних матеріалів. Описано властивості основних біоміметичних матеріалів, механізми їх впливу на організм людини. Зазначено сферу можливого їх застосування в медичній практиці.

Ключові слова: біоміметика, біоміметичні матеріали, властивості, застосування, медико-соціальний аспект.

За тривалий період еволюційного розвитку природа створила природні молекулярні наномашини та нанорозмірні системи. Біоміметичний синтез (грец. *bios* — життя та *mimetikos* — наслідувати, імітувати, повторювати, подібний, а також грец. *synthesis* — з'єднання) — напрям дослідної праці, заснований на відтворенні природних властивостей за допомогою штучних матеріалів синтетичного походження або з використанням виділених складових з організмів для підготовки неорганічних продуктів (Luz G.M., Mapo J.F., 2009). Біоміметичну поділяють на «естетичну» та «функціональну» для пояснення властивостей нових матеріалів. Ця наука є міждисциплінарною, вивчає хімічні, фізичні, фізико-хімічні, біохімічні властивості природних наноматеріалів, що відіграють важливу роль у функціонуванні живих систем. Дослідження процесів, функцій, властивостей, якими володіють природні наноматеріали та нанопристрої, є важливим питанням для впровадження таких структур у різні галузі діяльності людини. Нанокристалічна структура нових матеріалів із біоміметичною морфологією, яка відповідає фізико-хімічним, механічним, біологічним характеристикам живої тканини, може полегшити роботу лікарям-травматологам внаслідок якісного покращання регенерації кісток. Імунна відповідь організму на матеріал, відсутність алергічних реакцій, пошкоджень, деформацій внаслідок запальних процесів належать до мети дослідницької діяльності в галузі біоміметиків (Harris C.M., 2009; Luz G.M., Mapo J.F., 2009).

Природний позаклітинний матрикс на практиці не завжди може бути ефективною основою для регенеративної медицини. Біоматеріали відіграють ключову роль у пошуку тканин для відновлення. Для проведення сучасних методів застосування у тканинній інженерії відбувається синтез нанобіоматеріалів. Штучні біоміметичні матеріали повинні якісно відтворювати процеси набору клітин, посіву, адгезії, проліферації, диференціювання та неогенезису тканин. Біоміметичні матеріали можуть створюватися різними класичними способами, до яких відносять синтез «згори вниз», «знизу вгору». Багатогранність способів формування наноматеріалів

із перспективними властивостями дозволяє уникнути негативних економічних питань, нівелювати токсичність, поліпшити екологію навколишнього середовища (Ma P.X., 2008).

Нановолокна, отримані за допомогою спеціальної технології, можуть покращувати проліферацію живих клітин. Біоміметичні карбонові нановолокна можна використовувати у тканинній інженерії, тобто для заміщення пошкоджених тканин. Розуміння клітини як сукупності органічних компонентів та моделювання протобіологічних систем приводить до отримання біологічно не функціональних синтетичних клітин, тому такі наноструктури можуть бути лише аналогами для деяких окремих сфер використання в медичній практиці — регенераторна медицина, імплантологія та імунологія (Dhandayuthapani V. et al., 2012).

Метод електророзпилення використовують для виготовлення колоїдних наноструктур, у тому числі колоїдних кристалів. Виготовлення біоміметичних матеріалів синтетичними методами включає застосування метаматеріалів. Метаматеріали — це штучні, композитні матеріали, які відрізняються за електромагнітними показниками, що формують склад та визначаються особливим розміщенням і структурою (кільцеподібна, рулонна тощо) компонентів, яких не буває в природі. За допомогою метаматеріалів можна проектувати електромагнітні та оптичні властивості матеріалів з метою медичного використання. Структурними одиницями метаматеріалу є структури з кубічною симетрією. Існують метаматеріали з підвищеною електричною проникністю і магнітною сприйнятливостю, ефективність яких збільшується на багато порядків порівняно зі звичайними речовинами. Хоча можливість управління структурою компонентів матеріалу дає нову ступінь свободи в конструюванні їх властивостей, однак справжню революцію зробили дослідження, які продемонстрували можливість створення метаматеріалів із властивостями, яких не буває у природних матеріалах. Термін «метаматеріали» особливо часто застосовують саме до таких матеріалів (Engheta N., Ziolkowski W.R. (Eds), 2006).

Спостерігається збільшення кількості публікацій про взаємодію електромагніт-

них хвиль із середовищем з одночасно негативними величинами діелектричної та магнітної провідності. Метаматеріали сприяють створенню речовин, які імітують електромагнітні властивості відомих речовин або мають нові функції для покращання характеристик ізотропності (однакових параметрів фізичних величин, таких як теплопровідність, електропровідність, пружність, оптичні властивості) (Бычков И.В. и соавт., 2011).

Синтез метаматеріалів проводиться шляхом додавання різних компонентів/включень із новою геометричною будовою. До метаматеріалів належать подвійнонегативні (double-negative — DNG) матеріали, омега-посередники, провідникові посередники, лінійні середовища тощо. Тому впровадження метаматеріалів, отриманих за допомогою нанотехнологій, у практичну діяльність людини здійснюється у різних напрямках: медицина, промисловість, сільське господарство, авіація тощо (Engheta N., Ziolkowski W.R. (Eds), 2006).

Природні наноматеріали — складні структури, які відіграють важливу роль у нормальному функціонуванні живих тканин. Це зумовлено тим, що до складу біоміметичних матеріалів включено різні функціональні елементи (наночастинки мінералів, металів, аденілові нуклеотиди), що стверджують доцільність нанесення біоміметичного нанопокриття на поверхні приладів, які контактують з агресивним середовищем (Bixler G.D., Bhushan B., 2012). Обговорюється питання про віднесення до неорганічних нанобіоміметичних наноматеріалів (Чекман І.С., Сімонов П.В., 2012; Чекман І.С. та співавт., 2012).

Описують синтетичні методи виготовлення органічних/неорганічних наночастинок, які поєднують із вірусами. Наночастинки, синтезовані на основі вірусних компонентів, мають позитивну вибірковість дії, близькість до органічного середовища. Наночастинки кремнезему (базова речовина) та органосілани (конституентс матеріалу) формують властивості покриття віріона. Біоміметичний матеріал на основі вірусів порівнювали з біо-/діоксидом кремнію, який відомий як біосиліка (biosilica) (Cumbo A. et al., 2013).

Промисловий синтез кремній-органічних мономерів відбувається за рахунок

взаємодії метилхлориду в поєднанні з елементним кремнієм (олігомерні хлорсилани містяться в побічних продуктах виробництва кремнію), їх застосовують у процесах фотолітографії, створення оптичних систем, поєднанні сополімерів поліфенілсилану з метилметакрилатом (Семенов В.В., 2011). Полікарбонатовий субстрат з наночастинками селену застосовують для запобігання утворенню біоплівки мікроорганізмів, яка є причиною розвитку стійких мікроорганізмів (Wang Q., Webster T.J., 2012). Поліол, створений на основі гліцеролу, який поєднаний із діоксидом кремнію, використовують як потенційний носій лікарського засобу, наприклад доксорубіцину гідрохлориду (Shanta Singh N. et al., 2013). Формування наночастинок кремнію на основі біоплівки, що утворюються на поверхні суспензій, знаходиться в центрі розробок нових пристроїв та покриттів (Li X. et al., 2012).

Біосинтетичний підхід використовують для контролю організації молекулярних моторів у білковій масі. Такий підхід забезпечує зв'язок із біомоторами, до якого, наприклад, належить кінезин-1 (Diehl M.R. et al., 2006).

Природний метод синтезу наночастинок «знизу вгору» реалізується за рахунок самозбірки з елементарних одиниць у помірних температурних умовах у разі, якщо використовується для виготовлення біомінералів, структура яких є ієрархічною, тому важливу роль у механічних властивостях матеріалів відіграє ієрархічна організація та інші структурні особливості природного композиту. До таких природних композитів можна віднести перламутр, для синтезу якого потрібні органічні макромолекули у ролі шаблонів для продукування мінералів та виготовлення матеріалу. Контрольоване вирощування натуральних матеріалів дозволяє проводити орієнтацію структурних елементів від молекулярного рівня до макроскопічних структур (Luz G.M., Mayo J.F., 2009).

Вдосконалення методів досліджень біоміметичних матеріалів дозволило адекватно імітувати супрамолекулярні процеси самоорганізації в біосистемах живих структур (рисунок). Органічне середовище — це одна з основних умов існування біосистем. Основним завданням синтезу біосистем є відтворення плазмолем, геному, системи енергозабезпечення живих клітин. Існують дослідження про створення штучних біологічних систем, конструкція яких є мінімальною за кількістю функціональних елементів. Наприклад, за допомогою алгоритмів створено біоморфи (моделі морфології клітини). Фізико-хімічний аспект взаємодії синтетичних елементів із зовнішнім середовищем при таких підходах не повністю відповідає природним методам реакції організму на ксенобіотики. Синтетичні неорганічні аналоги біологічних систем досліджуються за рахунок структурної та функціональної подібності з натуральними живими компонентами. Представлений біоміметичний матеріал складається зі штучної мембрани з полімерного сурфактанту та пептидної нуклеїнової

кислоти (5–10 нм). Пептидна нуклеїнова кислота є прототипом генома. Прикладом цього процесу є дані про створення звичайних везикулярних біореакторів, у складі яких знаходиться цитозоль *Escherichia coli*, суміш із 37 різних протеїнів. Стінки отриманих мікроб'єктів виконані з біліпідних шарів, фракціонованих (методом аналітичного центрифугування) з яєчного білка, а внутрішній простір мікроб'єктів — заповнений екстрактом цитозоля *Escherichia coli* без нуклеотиду (Крыченко О.В., Яновский Ю.Г., 2008).

Біоміметичні матеріали становлять собою наноклітини, які, у свою чергу, є нанороботами, що виступають прототипами функціонуючих можливостей живих клітин, тканин, біологічних систем організму. Вдосконалення нанотехнологій — важлива проблема для досягнення якісного виготовлення біоміметичних матеріалів, тому що роботехнічна модель є ще не досконалою для повної імітації процесів у живих об'єктах. Видалення одного важливого фрагмента, який входить до складу живої структури, може суттєво погіршити якість біоміметичного матеріалу. Про створення повноцінної синтетичної клітини або нанобіоміметичного робота на сьогодні невідомо (Крыченко О.В., Яновский Ю.Г., 2008).

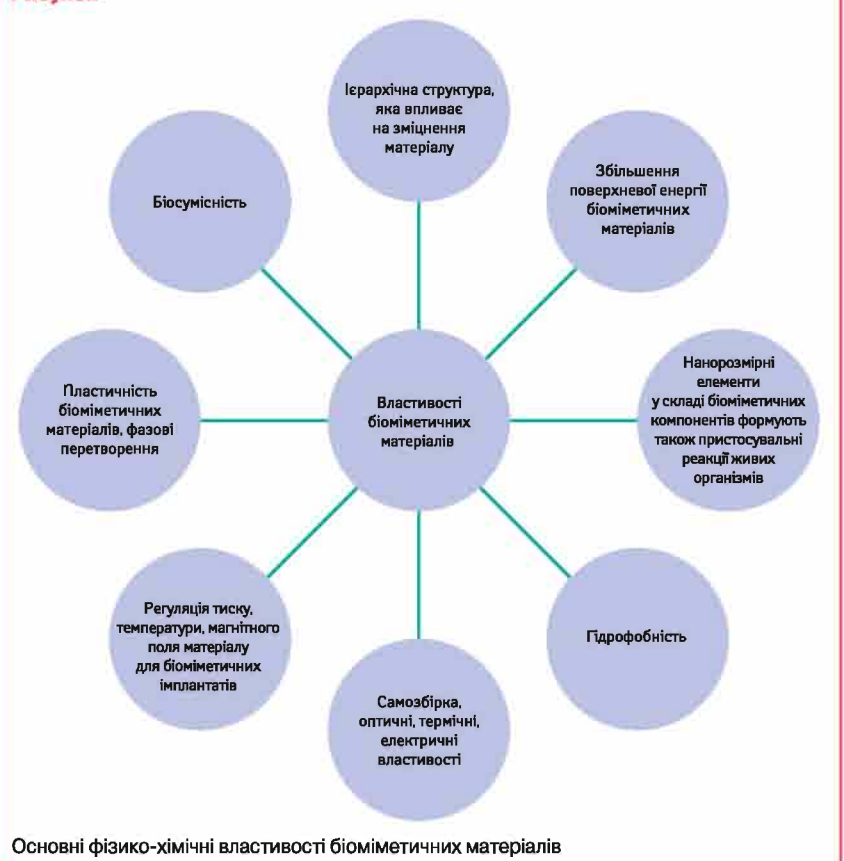
Аденозинтрифосфатаза (АТФаза) належить до кінцевого ферменту окисного фосфорилування, відома як наномотор; також відомий Р-глікопротеїн у ролі наномотора, що забезпечує організму стійкість до лікарських засобів. У дослідженнях використовують бактерії *Serratia marcescens*

для перетворення хімічної енергії в механічну. Одноклітинні організми рухаються завдяки наномоторам, одним з яких є білок міозин, енергія для якого виділяється при гідролізі АТФ. М'язовим міозином здійснюється рухливість кінцівок, скорочення серця, регуляція просвіту судин (Geeves M.A., Holmes K.C., 2005; Kim D. et al., 2012; Senior A.E., 2012).

Як приклад біологічних молекулярних моторів можна розглядати також джгутики бактерій, які обертаються зі швидкістю 10 000 обертів на хвилину. Рух джгутиків здійснюється протонним потоком, викликаним відмінностями електростатичного потенціалу навколо мембрани. Ці джгутики містять протеїни. Так, міозин може рухатися вздовж актинових філаментів. Міозини належать до молекулярних моторів, вони представлені у геномі людини приблизно 40 генами. Волокна міозину складаються із 12 паралельних ниток та мають 4 нм у діаметрі. Важливу роль в енергетичному забезпеченні діяльності наномоторів відіграє АТФаза (Chen S. et al., 2010).

Рухливості компонентів, які відповідають за пересування у просторі та місцезнаходження певних функціональних елементів біоміметичних матеріалів, відбувається за рахунок використання енергії, яка утворюється у процесі хімічних реакцій. Крім того, зазначена енергія необхідна для забезпечення інших функцій біоміметичних наноструктур. Технологія біоміметичних джерел живлення може використовуватися для виготовлення сонячних батарей, які перетворюють сонячну енергію в електри-

Рисунок



ку, тому проблема абіогенезу активно вивчається. За рахунок абіогенезу (розвиток життя на основі неорганічної речовини) припускають функціонування протобіонтів — макромолекул, з яких, на думку дослідників, утворилися клітини з геномом. Метод прямого формування органел полягає в самоорганізаційних властивостях живої природної клітини, який реалізується завдяки енергії випромінювання, копіювання структури біологічного складника на неорганічний носій. Метаболічні процеси активують під час відбудови клітин за рахунок фотоіндукуючих речовин (Крыченко О.В., Яновский Ю.Г., 2008; Bhushan B., 2009).

Фізіологічно активні речовини рослин також належать до біоміметичних матеріалів. До них відносяться ферменти, вітаміни, фітогормони, антибіотики, фітонциди, інгібітори. Зовнішній шар поверхні пелюстки рослини має гідрофобні властивості, що дозволяє уникнути висихання, виконувати функцію захисту від впливу зовнішніх негативних факторів, запобігати транспірації. Деякі частини рослини мають водовідштовхувальні властивості, наприклад пелюстка *Nelumbo pucifera* (лотоса), яка самоочищується завдяки наявності гідрофобних покриттів. Краплі води можуть рухатися таким чином, що поверхня листка очищується під статичним крайовим кутом $>90^\circ$. У плаваючій папороті з роду *Salvinia* наявні різні види водовідштовхувальних (супергідрофобних) волосків. Формування поєднань повітря — рідина має вирішальне значення для супергідрофобності та самоочищення. На поверхні (верхній або адаксіальній стороні) листя волоски утворюють складні ієрархічні структури, які здатні утримувати шар повітря на зовнішньому шарі листя навіть тоді, коли перебувають під водою протягом декількох днів (Bhushan B., 2009).

При контакті двох твердих поверхонь спостерігається хімічне та фізичне притягання. За рахунок адгезії відбувається міжмолекулярна взаємодія. Капілярні сили виникають внаслідок рідинно-опосередкованого контакту. Формування адгезивних містків (менісків) збільшує зчеплення двох середовищ. Для відтворення вищевказаних властивостей використовують наноструктуровані полімери. Одним зі шляхів покращення так званого «ефекту лотоса» є збільшення шорсткості досліджуваної поверхні. Кут контакту рідини з шорсткою поверхнею відрізняється від аналогічної гладкої. Тому газова фаза шорсткої поверхні може потрапити у відділення неоднорідності і змінити взаємодію показників адгезії відносно маркерів «твердого тіла/рідини/повітря», що сприяє більш легкому ковзанню. Кут змочування гідрофільних матеріалів зменшується зі збільшенням фактору шорсткості. Плоскі поверхні — 109° , поверхні з візерунком — від 152° , де відбувається зростання до 170° (Bhushan B. et al., 2009).

Важливу роль у формуванні реакції взаємодії поверхонь біоміметичних матеріалів відіграють олеофобні властивості,

тому багато морських живих організмів мають покриття з олеофобним ефектом. Поверхневий натяг нафти нижче за воду, тому для створення олеофобної поверхні поверхнева енергія твердого тіла в повітрі має бути нижчою, ніж у олії. Луска риби має ієрархічну структуру та володіє олеофобним ефектом покриття. Лусочка складається з матеріалів діаметром 4–5 мм, вкритих сосочками 100–300 мкм завдовжки і 30–40 мкм в ширину. Шкіра акул характеризується низьким коефіцієнтом лобового опору. Це пояснюють існуванням дуже дрібних окремих зубчиків, які розташовані вздовж локального або місцевого напрямку води, в результаті чого вода ефективно рухається по поверхні тварини. Мушлі, луска риби, рослини (листя, стебла, квіти) мають структуровану поверхню з корисними властивостями (Bhushan B., 2011; Sharma A.N., 2012).

Знання природних нанотехнологій дозволяють науковцям конструювати складні функціональні пристрої для різного використання. Біоміметичні матеріали дозволяють інженерам розробляти як речовини, так і прилади, що мають важливе практичне значення для наноелектроніки, бездротового зв'язку, нанотрубки, біомедичні прилади. Олеофобний ефект, який може з легкістю забезпечити біоміметичний матеріал на основі ефекту лотоса, корисний для очищення поверхонь від налипання залишків палива в трубах, паливних баках та ін. Явища гідрофобності та олеофобності полягають в ефекті ковзання між твердою та рідкою речовинами. Гідрофільні й олеофільні поверхні здатні взаємодіяти, тому під час омивання нафти водою відбувається очищення поверхні. Цей ефект може знайти застосування для запобігання обростанню килу кораблів (Cavalcanti A. et al., 2007; Bhushan B., 2011).

Живі організми мають сенсорні органи, які отримують інформацію із зовнішнього середовища для орієнтації, адаптації, пересування тощо. Сенсорні системи комах прості з огляду будови, ефективні та надійні. Комахи здатні виявляти наближення хижаків за рахунок високочутливих волосків механорецепторів, які реагують на слабкі потоки повітря, низькі частоти звуку зовнішнього середовища. Подовження штучних волосків допомагає отримувати розширене поле ідентифікації завдяки чутливим пристроям природних нанотехнологій з інтегрованими системами. Для нейронної обробки візуального середовища комахам потрібно близько 1 млн нейронів, що в 40 000 разів менше потреби для людського ока (Johnson E.A. et al., 2009).

Однією з природних форм кальцію карбонату є арагоніт. Арагоніт — нестабільна фаза карбонату кальцію, яка повільно перетворюється до кальциту. При цьому трансформація арагоніту в кальцит супроводжується збільшенням обсягу отриманого матеріалу. При нагріванні $>400^\circ\text{C}$ відбувається швидкий перехід арагоніту в кальцит. Арагоніт утворює призматичні, подібні до стовпців, списоподібні, голчасті та інші кристали. Арагоніт входить до складу перламутрового шару раковин багатьох

видів молюсків, в екзоскелет коралів. У зв'язку з тим, що арагоніт у раковині молюска підлягає біологічному впливу, форма кристалів відрізняється від арагоніту неорганічного походження. У деяких молюсків вся раковина складається з арагоніту, в інших — тільки окремі частини, в той час як інші — з кальциту. Перлини складаються з тонких шарів арагоніту (Luz G.M., Maço J.F., 2009).

Мушлі молюсків мають різноманітну будову. Перламутр привертає особливу увагу дослідників, оскільки є зібранням орієнтованих пластинчастих кристалів арагоніту в ролі «брикетів». Структура перламутру у зв'язку з притамами відмінними механічними властивостями запропонована для створення нових, придатних нашаруванню, якісних наноконструктив. Перламутр містить вушка, які складаються із двох шарів із різними мікроструктурами: кальциту й арагоніту. «Смуги росту» створюють мезошари, що відіграють важливу роль як потужні дефлектори тріщин, призупиняючи їх збільшення. Інтерламеральні листи між кальцієм і арагонітом в основному складаються з β -хітину. У межах листів наявні шовкподібні білки. Поверхня арагоніту не гладка, становить нанорозмірну нерівність, впливає на механічні властивості перламутру. Ці компоненти дозволяють проводити дослідження для створення біологічно активних матеріалів з нанорозмірами, що становлять собою пластичну, міцну, якісну речовину для імплантатів. Тому перламутр — перспективний матеріал для медицини (Luz G.M., Maço J.F., 2009).

Дефекти кісткової тканини людини, які не здатні до повноцінного самостійного відновлення, активно досліджують з метою поліпшення лікування їх травматичних пошкоджень. Поширеним способом вирішення існуючих проблем травматології є трансплантація природних тканин в місцях дефіциту кістки. Трансплантація має наступні недоліки: травматичність проведення операцій, які відбуваються під час хірургічної роботи на місцях патологічних змін тканин, труднощі в пошуку якісного матеріалу від донорів, обмежена кількість наявних матеріалів, поширена низька сумісність наданих матеріалів для імплантації. Дослідники розробили альтернативну стратегію лікування травм кісток (Drevelle O., Fauchoux N., 2013).

Біоміметичні наноматеріали в імплантології — напрямок досліджень, який надзвичайно важливий для швидкого одужання пацієнтів з переломами кісток, збільшення терміну придатності імплантатів або для безпечного розсмоктування імплантатів із подальшим виведенням у зв'язку з фізіологічними вимогами з організму (Eglij R.J., Luginbuehl R., 2012). Щорічно у світі виконується багато ортопедичних операцій. Імплантати, які застосовують при цих оперативних втручаннях, містять остеопрогеніторні клітини та остеоіндуктивні фактори росту. Розробка високосумісних, еластичних та міцних біоміметичних наноматеріалів є важливим питанням покращання регенеративної медицини

в ортопедії та травматології (Liu H., Webster T.J., 2010; Погорелов М.В. та співавт., 2011).

Гідроксиапатит кальцію (ГАП) — неорганічний компонент структурної тканини людини. У природних структурах у нанорозмірах (5–10 нм) забезпечує процеси остеогенезу, сприяє природному обміну кальцію в організмі; пористі та щільні керамічні матеріали на основі ГАП використовують у медицині для лікування кісткових дефектів. Сучасні методи лікування потребують використання такого матеріалу на основі кальцію фосфатів, який був би здатним розчинятися в середовищі організму по мірі наростання нової кістки, даючи для них основу для формування у вигляді іонів кальцію та фосфат-іонів. У перспективі доцільно отримати композиційні матеріали, у складі яких існують резорбуючі та резистентні фази. Зазвичай як резистивну фазу використовують ГАП. А в ролі резорбуючої — трикальційфосфат, кальцію пірофосфат, подвійні (кальцію, натрію) чи калію фосфати, кальцію карбонат, фосфатне скло (Ширяев М.А. і соавт., 2008; Голощапов Д.Л. і соавт., 2011).

Полімерні матеріали — матеріали на основі високомолекулярних сполук, широко застосовують у медицині для розробки дослідницької та лікувальної апаратури, виготовлення інструментів, посуду для наукових лабораторій. Полімерні матеріали (поліетилен, поліпропілен, фторопласт, силікони, поліметилметакрилат), які не змінюють своїх властивостей під впливом зовнішнього середовища, застосовують для створення штучних судин, клапанів серця, кришталіків очей, частин ендопротезів суглобів, штучного сухожилля, м'язових зв'язків, штучної нирки (Будник А.Ф. та співавт., 2008).

Наноматеріали для ортопедичних втручань мають здебільшого позитивні властивості: висока біосумісність, низька токсичність, здатність до біодеградації. Почали застосовувати матеріали на основі полімерів та мінералів (до яких відносять хітозан та ГАП відповідно) для відновлення кісток. Кістка складається на 60–65% з ГАП, а також колагену, хондроїтину сульфату тощо (Волков С.В. та співавт., 2008; Venkatesan J., Kim S.-K., 2010).

Біологічно активні частинки використовують у медицині. Біоміметичні матеріали поширені завдяки їх здатності сприяти відновленню кісток, біосумісності, відновленню мінералізованих тканин. Проводять впровадження нових методик із використанням золь-гель наночастинок $\text{SiO}_2\text{-CaO}$. Колоїдні кристали — це сферичні агрегати. Високовпорядкована організація отриманого матеріалу на основі наночастинок подібна до мінералізованих структур. Біоскло на основі системи MgO-CaO-SiO_2 володіє високою активністю для формування ГАП кістки (Погорелов М.В. та співавт., 2011; Luz G.M., Mano J.F., 2012).

Кальцій фосфат вважають основою для утворення композитів із желатином. Кальцій фосфат має мінеральне походження. При поєднанні двох тонких шарів кальцію фосфату забезпечується синтез кіст-

кової тканини, при цьому внутрішній шар кальцію фосфату розчиняється довше і вивільняє іони протягом тривалого періоду, що сприяє підвищенню остеогенезу. Щільно прилягаючі кристали CaP забезпечують необхідний капілярний ефект на всій поверхні імплантату, що викликає швидкий ріст кісткової тканини (Ширяев М.А. і соавт., 2008; Choi M.O., Kim Y.J., 2012).

Біоміметичні наночастинок використовують для виготовлення різних нанокомпозитів. Продовжують дослідження трьох типів наночастинок біоміметичних матеріалів — полістирол сульфат, який вкритий одним катіонним шаром бішару діоктадецил диметиламонію, кремнезем, який вкритий одним нейтральним бішаром фосфатидилхоліну, міконазол (Carmona-Ribeiro A.M., 2012).

Існують недоліки у традиційних методах лікування переломів кісток, тому дослідники розглядають можливість розробки нових наноструктурованих замінників кістки, у складі яких лежать одностінні нанотрубки, біоміметичний ГАП, біосумісний хітозан. Для поліпшення регенерації кістки виготовлено два види одностінних карбонових нанотрубок. Нанокомпозити, представлені впливом магнітного поля, продемонстрували кращі цитосумісні якості порівняно з відсутністю магнітного поля. Такі одностінні карбонові нанотрубки мають значно менший діаметр, довші, оскільки розміри впливають на вrostання у них остеобластів. Нанокомпозити хітозану в обох випадках карбонових нанотрубок можуть сприяти більш високій щільності вrostання остеобластів порівняно з іншими експериментальними групами. Однією із важливих властивостей нанотрубок є здатність транспортувати лікарські засоби до патологічного процесу. Підвищується ця властивість при поєднанні їх з полімерними матеріалами (Xu H. et al., 2011; Im O. et al., 2012). Карбонові наноструктури — дендримери можуть бути застосовані для визначення домашнюк у фармацевтичних препаратах, сечі та сироватці крові (Wilczewska A.Z. et al., 2012).

Мінералізація біокомпозитних матеріалів ґрунтується на імітації хімічного складу натуральної кістки. Кристали утворюються на мембрані нановолокон, яка містить Ca^{2+} в ролі прекурсора за рахунок більш сильних іонних взаємодій із желатином. Вища кількість кристалів CaP значно прискорює внесення подібного до кістки апатиту на поверхні композиту (Choi M.O. et al., 2012).

Діоксид титану в сполученні з наночастинками золота в присутності аскорбінової кислоти може виступати у ролі стабілізатора. Матеріал може бути основою для синтезу гібридних матеріалів, які будуть застосовані для фотокаталізу (Wang S. et al., 2012). Гадоліній, поєднаний із бетацилодекстрином та/чи діоксидом титану, може бути застосований як флуоресцентний маркер панкреатичних островців. Матеріал *in vitro* забезпечує більш контрастне посилення візуалізації протягом більш короткого часу сканування. Представлений

метод важливий для лікування підшлункової залози (Berkova Z. et al., 2013). Наночастинок силікат титану завдяки взаємодії з аланіном, лактатом, холінестеразою, глутатіонестеразою та іншими ферментами можна використовувати для вивчення метаболізму пуголоків (Salvatera T. et al., 2012).

Нанокристалічність структури покриття з наночастинками титану здатна забезпечити в поєднанні з наночастинками ГАП наносорптуватість, нанопористість, високу адсорбцію протеїнів, що покращують якість біоміметичних матеріалів. Нанотитан впливає на життєздатність клітин і експресію генів. Ендцитоз відбувається за рахунок ліганд-рецепторних та електростатичних взаємодій між матеріалами і фосфоліпідами на мембрані клітини. Титанові імплантати мають розміри 45–50 нм у діаметрі (Okuda-Shimazaki J. et al., 2010; Bayram S. et al., 2012).

Поєднання наночастинок полі(молочної-со-гліколевої кислоти) (ПМГК) з полікапролактоном з метою утворення термостійкого біоміметичного матеріалу, в якому наночастинок залишаються в незмінному вигляді після плавлення, потрібне для безпечного здійснення термічного процесу стерилізації. Наночастинок ПМГК із полікапролактоном утворюють термостійкий біоміметичний матеріал, який не змінюється після плавлення, що важливо для здійснення термічного процесу стерилізації (Lü J.-M. et al., 2009).

Розподіл і концентрацію ПМГК можна контролювати, підібравши розміри наночастинок і час доставки, тому що наночастинок швидко поглинаються ендотеліальними клітинами, локалізуються переважно в цитоплазмі. У регенеративній медицині використовують різні наноматеріали (матеріали з розмірами частинкою в інтервалі від 1 до 100 нм, створені за допомогою нанотехнологій), поширене застосування суперпарамагнітних наночастинок (Fe_3O_4 , $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, MnFe_2O_4) для візуалізації кісток, органів шлунково-кишкового тракту, лімфатичних вузлів, печінки, селезінки тощо, хоча деякі наноматеріали мають виміри, які за певними параметрами >100 нм. Прикладом є карбонові нанотрубки довжиною 500 нм і 2–3 нм у діаметрі (Lü J.-M. et al., 2009; Chen S. et al., 2010).

Нанокомпозити наночастинок оксиду заліза у сполученні з марганцем призначають для візуалізації кісток, органів шлунково-кишкового тракту, печінки, селезінки тощо (Chen S. et al., 2010).

Наночастинок оксиду заліза у сполученні з наночастинками золота вступають у взаємодію з лужною фосфатазою та іншими субстратами. Ці композити можуть бути виявлені завдяки електронній мікроскопії і спектроскопії. Відоме застосування вищезазначених композитів для визначення мутацій у ракових клітинах у присутності 2-фосфо-L-аскорбінової кислоти (Situ B. et al., 2012).

Час дії наночастинок оксидів металів залежить від концентрації дослідженого матеріалу, яка впливає на проникність наночастинок відносно клітинних мембран,

запальні процеси в ендотеліальних клітинах судин та на життєздатність клітин. Щодо цитотоксичності, проникності в ендотеліальних клітинах судин наночастинки оксиду магнію, міді та цинку відрізняються. Найменша цитотоксичність характерна для оксиду магнію. Вода впливає на ступінь розчинення наночастинок магнію оксиду, що пов'язано зі ступенем гідроксилювання поверхні наночастинок (Горчакова Н.О. та співавт., 2011; Sun J. et al., 2011).

Біоміметичний синтез наночастинок металів можливий із використанням екстракту листя алое (*Aloe vera*). У дослідженні використовують наночастинки флуороурацилу, які мають середній розмір 35 ± 5 нм. Концентрація екстракту листя алое впливає на розмір синтезованих наночастинок: з підвищенням концентрації алое зменшується розмір наночастинок флуороурацилу. Також використовують такі рослини для синтезу нанометалів (золото, срібло, залізо, кадмій): овес (*Avena Sativa*), лимонник (*Symborogon flexuosus*), листя дерева нім (*Azadirachta indica*), амалака (*Embllica officinalis*), кориця (*Cinnamom samphora*), алое (*Aloe vera*) (Chauhan A. et al., 2012).

Можливість застосування нанобіотехнологічних розробок у медичній практиці для профілактики, діагностики і лікування різних захворювань із контролем біологічної активності отриманих продуктів чи медикаментів проводить наука нанобіотехнологія, хоча міждисциплінарний напрямок перебуває у стадії становлення та інтенсивних досліджень.

Запропоновано використання нанокристалів, наноемульсій, дендримерів у косметології. Деякі наноматеріали вже знайшли застосування у практичній діяльності людини. Прикладом є надтверді сплави металів у техніці, ліпосоми у медицині, фулерени і дендримери для діагностики захворювань і цільової доставки лікарських засобів. Важливим здобутком є використання методик генної інженерії, регенеративної медицини та наномедицини, побудоване на досягненнях нанобіотехнологій, причому чинником максимального успіху може стати їх поєднане застосування та діагностика захворювань за допомогою квантових міток. Використовують маркери з токсичних органічних барвників, що погано позначається на пацієнті, а квантові мітки (як напівпровідникові кристали нанометрового розміру) позбавлені цього недоліку (Маланчук В.О. та співавт., 2010; Чекман І.С. та співавт., 2010).

Серед нових носіїв ліків слід окремо виділити аквасоми — клас твердих носіїв, що складаються з ядра, оболонки та ліків. За допомогою аквасом дослідники планують застосовувати терапевтичні препарати в організмі, тому поверхнева модифікація вуглеводами забезпечує гладку молекулярну стабілізуючу плівку, яка має зменшити побічні ефекти косметичних засобів. Перспективним розглядають використання плівок на основі нанотехнологій з метою відновлення шкіри, омолодження, зупинення процесів старіння за рахунок поліпшення надходження корисних речовин, до яких

належать вітаміни, біометали, амінокислоти, ферменти. Довготривалий процес відновлення тканини після хірургічних втручань — негативний наслідок медицини. Важливим питанням є вивчення побічної дії біоміметичних матеріалів для терапії захворювань. Біоміметичні матеріали відтворюють властивості живих тканин за рахунок імітації різних факторів. Розміри можуть покращити всмоктування наночастинок, разом із тим підвищити інтоксикацію організму. Токсичність наночастинок вивчена на сьогодні недостатньо. Щурі, миші, кролики можуть бути поганими моделями з метою дослідження токсичності біоміметичних матеріалів, тому що потрібен час для якісного вивчення властивостей препарату. Ефективний моніторинг може значно покращити координацію застосування біоміметиків. Фармацевтичний ринок пропонує патентовані ліки, які повинні відповідати безпеці, доцільності застосування, перспективності результатів, які потребує отримати покупець. Продовження досліджень викликає низьку довіру населення до представлених матеріалів (Маланчук В.О. та співавт., 2010; Чекман І.С. та співавт., 2010).

Наночастинки магнію також дозволяють зменшити вираженість екзотермічних реакцій полімерів, які використовують як кістковий цемент, таких як поліметилметакрилат, за рахунок збільшення площі поверхні порівняно зі звичайними частинками MgO. Поліметилметакрилат є екзотермічним матеріалом, що може завдати шкоди здоров'ю кістковій тканині, наприклад після рентгенівського опромінення, коли погіршується візуалізація, тобто чіткість оцінки щодо формування кістки (Ricker A. et al., 2008; Горчакова Н.О. та співавт., 2011).

Для виготовлення біоміметичних матеріалів із медичним застосуванням використовують також поліамінокислоти, поліефіри, поліаміди, поліуретани, поліортоєфіри, поліакриламід та ін. Природа дозволяє ефективно використовувати форми, але звичайне копіювання природної структури може не мати ефекту. Визначення біоматеріалів, які підтримують клітинну толерантність, є найголовнішим питанням у дослідженнях ембріональних стовбурових клітин. Стовбурові клітини є матеріалом досліджень із регенеративної медицини. Останнім часом нанотехнології надають можливість для функціоналізації нановолокон із біоактивними факторами (ліки, білки чи нуклеїнові кислоти), які можуть направити диференціацію ембріональних стовбурових клітин. Довгострокове приживлення стовбурових клітин у природних умовах має одне з важливих значень перед нанесенням інженерних тканин для клінічного застосування (Косенко О.О. та співавт., 2006; Косенко О.А. і соавт., 2007). Тканинна інженерія поєднує технології використання хімічних речовин із генною інженерією (Hwang N.S. et al., 2008).

Біоміметичні матеріали розробляють для виготовлення тканини ока за рахунок розвитку якісної апаратури. Нові гібридні мікро- та наноматеріали дозволяють виготовити наноструктури, які пропускають

світло для підвищення чутливості ока. Такі сполуки оптично характеризуються апертурою 0,77, передача світла може бути покращена на 2,3% при довжині хвилі 632,8 нм, що дозволяє отримати більш чітке зображення небілковими наноструктурами (Wang T. et al., 2012).

Розвиваються дослідження полісахаридних нанокристалів, висококристалічних нанорозмірних матеріалів. Біоміметичні оптичні наноматеріали — це механічно адаптивні наноматеріали, для синтезу яких використовують наночастинки полімерів, емульсії наностабілізаторів. Хімічні модифікації нанокристалів мають фізико-хімічні переваги та покликани розвивати функціональність використання в терапії очних патологій (Lin N. et al., 2012).

Існують свідчення про утворення за допомогою гібридних нанотрубок трубчастих плазмових мембран для кальцій-іонних каналів (Liu F. et al., 2011). Нанотрубка — порожнисті білкові циліндри від 25 нм у діаметрі. Багатошарові карбонові нанотрубки відображають природу мікротрубок (Rodríguez-Fernandez L. et al., 2012). Досліджують іонні властивості проникності нанопор, які знаходяться у фосфоліпідному бішарі. Загальна вибірковість значною мірою залежить від сумарного заряду фільтра, аналіз розподілу функцій свідчить про значне структурування розподілу іонів і води в нанопорах. Детальний аналіз взаємодії нанопор, в яких заряд сітчастого фільтру дорівнюють нулю, з іонами Ca^{2+} показав, що локальні взаємодії з аніонними (карбоксилатними) групами селективного фільтру зумовлюють часткову заміну сольватуючих водних іонів (García-Fandiño R., Sansom M.S., 2012).

Деякі функціоналізовані матеріали мають застосування в регенеративній медицині, тканинній інженерії. Наночастинки використовують для відстеження стовбурових клітин, доставки генів у стовбурових клітинах, трансплантації біоміметичних тканин. Використовують наноматеріали амфільних пептидів, що відносять до самоорганізуючих пептидів, карбонових нанотрубок, волокон, виготовлених способом електропрядіння. Розробка нових наноструктур на сьогодні поглиблює розуміння молекулярної самозбірки для біоміметичних, багатфункціональних матеріалів. Функціоналізація може бути виконана на нанорівні, тому наноматеріали імітують позаклітинну матрицю, беруть участь у пептидних реакціях, сприяють відновлюючим процесам (Perán M. et al., 2012).

Перспективним є питання використання кількох індикаторів з однаковими властивостями. Нові інженерні індикатори дозволяють проводити ефективні дослідження. Створено новий індикатор, до складу якого належать полімолекулярна кислота, мікросфера з короткими нитками ДНК і синтетичні парамагнітні наночастинки оксиду заліза. Синтетична ДНК виступає в ролі мітки наших індикаторів, які дозволяють відрізнити різні індикатори, наночастинки оксиду заліза полегшують визначення магнітної концентрації трасерів у зразках води. Деякі потенційні переваги цієї кон-

цепці трасуючих компонентів включають практично безмежні можливості для позначення індукторів (Sharma A.N. et al., 2012).

Наноккомпозити розглядають як біоміметичний матеріал у зв'язку з регульованими фізичними, хімічними, фізико-хімічними та біологічними властивостями. Дослідження *in vitro* та *in vivo* дають змогу вирішити ряд важливих проблем, тому використовують наноккомпозити на основі наночастинок ПМГК та аморфного кальцію фосфату (poly(lactic-co-glycolic acid) and amorphous calcium phosphate nanoparticles — PLGA/a-CaP). У ролі остеоіндуктивного компонента CaP вважають більш перспективним матеріалом для синтезу інших композитів. Підстилаюча поверхня з наночастинок PLGA/a-CaP підходить для розробок матеріалів з остеоіндуктивним ефектом (Buschmann J. et al., 2012). Розуміння будови мінералізованих речовин є питанням галузі біомінералізації, тому має важливе значення для розвитку кісткової тканини. Кістка становить собою тканину з органічної матриці, складається з колагенових пучків, має відповідність із вбудованими нанорозмірними неорганічними наночастинами ГАП. Гібридні неорганічні наноструктури імітують склад мінералізованих тканин. Встановлено, що наноструктури циліндричної форми направляють ріст орієнтованих кристалів наногідроксиапатиту. Геометричні обмеження пов'язані з морфологією наноструктур, тому можна ефективно контролювати ріст наночастинок у кістковій тканині. Крім того, мінералізація макроскопічних пучків має відповідність із нанопучками (Newcomb C.J. et al., 2012).

Наноккомпозити хітозану використовують у біомедичних компонентах. ω -Трансаміназа (ω ТА) додають за допомогою нуклеофільних реакцій до катехінів. При оптимальних умовах 87,5% ω ТА приєднується до речовини. Це дозволяє проводити ферментне завантаження в кількості 681,7 мг/м. Композит катехол-хітозан/наночастинок оксиду заліза термічно стабілізується. Отримані результати свідчать, що така речовина для магнітних композитів може забезпечити поліпшену технологію виготовлення платформи для знерухомилення біомакромолекул (Ni K. et al., 2012).

Перспективні матеріали — запорука розвитку техніки. Термічна, хімічна і механічна стабільність багатьох оксидних і неоксидних сполук відкриває нові можливості конструювання мікроструктури і контролю над дефектами (Левина Д.А., Чернышев Л.И. (2008)).

Таким чином, синтетичні біоміметичні наноматеріали, розроблені на основі властивостей природних матеріалів органічного та неорганічного походження, інтенсивно досліджуються вченими усіх країн. Поліпшення інтеграції біоміметичних наноматеріалів в організм людини є підставою для подальших наукових розробок у галузі біології, хімії, медицини для їх подальшого впровадження в медичну практику як нових наноматеріалів із метою застосування для профілактики, діагностики і лікування різних захворювань.

Список використаної літератури

- Будник А.Ф., Юскаєв В.Б., Будник О.А.** (2008) Неметалеві матеріали в сучасному суспільстві: Навчальний посібник. СумДУ, Суми, 222 с.
- Бычков И.В., Дубровский Д.В., Зотов И.С., Федий А.А.** (2011) Исследование прозрачности изотропного метаматериала в СВЧ-диапазоне. Вестн. Челябин. гос. ун-та (ЧелГУ), Вып. 10 (Физика), 15(230): 31–36.
- Волков С.В., Ковальчук С.П., Генко В.М., Решетняк О.В.** (2008) Нанохімія. Наносистеми. Наноматеріали. Наукова думка, Київ, 422 с.
- Голощанов Д.Л., Кашкаров В.М., Румянцева Н.А. и соавт.** (2011) Получение нанокристаллического гидроксипатита методом химического осаждения с использованием биогенного источника кальция. Конденсированные среды и межфазные границы, 13(14): 427–441.
- Горчакова Н.О., Чекман І.С., Нагорна О.О., Нагорна Т.І.** (2011) Фізико-хімічні та біологічні властивості наномагнію. Фармакологія та лікарська токсикологія, 25(6): 3–9.
- Косенко О.А., Самченко Ю.М. Ульберг З.Р. и соавт.** (2007) Гидрогелевые наноректоры с иммобилизованными мезенхимальными стволовыми клетками. Коллоидные системы и новейшие технологии, 5: 173–181.
- Косенко О.О., Лукаш Л.Л., Самченко Ю.М. та співавт.** (2006) Колімерні гідрогелеві мембрани для іммобілізації та культивування стовбурових клітин людини. Біополімери і клітина, 22(2): 143–148.
- Крыченко О.В., Яновский Ю.Г.** (2008) Биомиметические клеточные наноконструкции — прототипы молекулярных машин (краткий обзор). Механика композиционных материалов и конструкций, 14(3): 430–442.
- Левина Д.А., Чернышев Л.И.** (2008) Тенденции развития современного материаловедения. Вісник УМТ, 1(1): 32–54.
- Маланчук В.О., Чекман І.С., Степаненко В.І., Рыбачук А.В.** (2010) Естетична медицина в аспекті застосування високих технологій (огляд літератури та власних досліджень). Укр. мед. часопис, 6(80): 115–123 (<http://www.umj.com.ua/article/5904>).
- Погорелов М.В., Данильченко С.М., Ткач Г.Ф. та співавт.** (2011) Матеріали для пластики кісткових дефектів — сучасний стан проблеми (огляд літератури та результати власних досліджень). Вісник СумДУ (серія Медицина), 1: 70–83.
- Семенов В.В.** (2011) Получение, свойства и применение олигомерных и полимерных организов. Успехи химии, 80(4): 335–361.
- Чекман І.С., Горчакова Н.О., Охотнікова О.М., Яковлева Н.Ю.** (2010) Нанотехнології в педіатричній практиці: стан, перспективи досліджень. Укр. мед. часопис, 6(80): 47–50 (<http://www.umj.com.ua/article/4136>).
- Чекман І.С., Сімонов П.В.** (2012) Природні наноструктури та наномеханізми. Задруга, Київ, 104 с.
- Чекман І.С., Ульберг З.Р., Маланчук В.О. та співавт.** (2012) Нанонаука, нанобіологія, наофармація. Поліграф плюс, Київ, 328 с.
- Ширяев М.А., Сафронова Т.В., Пуляев В.И. и соавт.** (2008) Материалы на основе порошков фосфата кальция, содержащих КСІ. Перспективные материалы, 6: 20–24.
- Bayram C., Demirelek M., Caliskan N. et al.** (2012) Osteoblast activity on anodized titania nanotubes: effect of simulated body fluid soaking time. J. Biomed. Nanotechnol., 8(3): 482–490.
- Berkova Z., Jirak D., Zacharova K. et al.** (2013) Gadolinium- and manganese-based contrast agents with fluorescent probes for both magnetic resonance and fluorescence imaging of pancreatic islets: a comparative study. ChemMedChem, 8(4): 614–621.
- Bhushan B.** (2009) Biomimetics: lessons from nature — an overview. Philos. Trans. A Math. Phys. Eng. Sci., 367(1893): 1445–1486.
- Bhushan B.** (2011) Biomimetics inspired surfaces for drag reduction and oleophobicity/phillicity. Beilstein J. Nanotechnol., 2: 66–84.
- Bhushan B., Jung Y.C., Koch K.** (2009) Micro-, nano- and hierarchical structures for superhydrophobicity, self-cleaning and low adhesion. Philos. Trans. A Math. Phys. Eng. Sci., 367(1894): 1631–1672.
- Bixler G.D., Bhushan B.** (2012) Biofouling: lessons from nature. Philos. Trans. A Math. Phys. Eng. Sci., 370(1967): 2381–2417.
- Buschmann J., Härter L., Gao S. et al.** (2012) Tissue engineered bone grafts based on biomimetic nanocomposite PLGA/amorphous calcium phosphate scaffold and human adipose-derived stem cells. Injury, 43(10): 1689–1697.
- Carmona-Ribeiro A.M.** (2012) Preparation and characterization of biomimetic nanoparticles for drug delivery. Methods. Mol. Biol., 906: 283–294.
- Cavalcanti A., Shirinzadeh B., Freitas R.A. Jr., Kretly L.C.** (2007) Medical nanorobot architecture based on nanobioelectronics. Recent Pat. Nanotechnol., 1(1): 1–10.
- Chauhan A., Zubair S., Sherwani A., Owais M.** (2012) Aloe vera induced biomimetic assemblage of nucleobase into nanosized particles. PLoS One, 7(3): e32049.
- Chen S., Wang L., Duce S.L. et al.** (2010) Engineered biocompatible nanoparticles for *in vivo* imaging applications. J. Am. Chem. Soc., 132(42): 15022–15029.
- Choi M.O., Kim Y.J.** (2012) Fabrication of gelatin/calcium phosphate composite nanofibrous membranes by biomimetic mineralization. Int. J. Biol. Macromol., 50(5): 1188–1194.
- Cumbo A., Lorber B., Corvini P.F. et al.** (2013) A synthetic nanomaterial for virus recognition produced by surface imprinting. Nat. Commun., 4: 1503.
- Dhandayuthapani B., Poulouse A.C., Nagaoaka Y. et al.** (2012) Biomimetic smart nanocomposite: *in vitro* biological evaluation of zein electrospun fluorescent nanofiber encapsulated CdS quantum dots. Biofabrication, 4(2): 025008.
- Diehl M.R., Zhang K., Lee H.J., Tirrell D.A.** (2006) Engineering cooperativity in biomotor-protein assemblies. Science, 311(5766): 1468–1471.
- Drevelle O., Fauchoux N.** (2013) Biomimetic materials for controlling bone cell responses. Front. Biosci. (Schol. Ed.), 5: 369–395.
- Egli R.J., Luginbuehl R.** (2012) Tissue engineering — nanomaterials in the musculoskeletal system. Swiss. Med. Wkly, 142: w13647.
- Engheta N., Ziolkowski W.R.** (Eds) (2006) Electromagnetic Metamaterials: Physics and Engineering Explorations. Wiley-IEEE Press, Piscataway, NJ, 414 p.
- García-Fandiño R., Sansom M.S.** (2012) Designing biomimetic pores based on carbon nanotubes. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 109(18): 6939–6944.
- Geeves M.A., Holmes K.C.** (2005) The molecular mechanism of muscle contraction. Adv. Protein Chem., 71: 161–193.
- Harris C.M.** (2009) Biomimetics of human movement: functional or aesthetic? Bioinspir. Biomim., 4(3): 033001.
- Hwang N.S., Varghese S., Elisseeff J.** (2008) Controlled differentiation of stem cells. Adv. Drug. Deliv. Rev., 60(2): 199–214.
- Im O., Li J., Wang M. et al.** (2012) Biomimetic three-dimensional nanocrystalline hydroxyapatite and magnetically synthesized single-walled carbon nanotube chitosan nanocomposite for bone regeneration. Int. J. Nanomedicine, 7: 2087–2099.
- Johnson E.A., Bonser R.H., Jeronimidis G.** (2009) Recent advances in biomimetic sensing technologies. Philos. Trans. A Math. Phys. Eng. Sci., 367(1893): 1559–1569.
- Kim D., Liu A., Diller E., Sitti M.** (2012) Chemotactic steering of bacteria propelled microbeads. Biomed. Microdevices, 14(6): 1009–1017.

Li X., Niitsoo O., Couzis A. (2012) Electrostatically driven adsorption of silica nanoparticles on functionalized surfaces. *J. Colloid. Interface Sci.*, 394: 26–35.

Lin N., Huang J., Dufresne A. (2012) Preparation, properties and applications of polysaccharide nanocrystals in advanced functional nanomaterials: a review. *Nanoscale*, 4(11): 3274–3294.

Liu F., Kang W., Zhao C. et al. (2011) Integrative and intermediate self-assembly of multi-walled hybrid nanotubes for cationic biomimetics. *Chem. Commun. (Camb.)*, 47(46): 12482–12484.

Liu H., Webster T.J. (2010) Mechanical properties of dispersed ceramic nanoparticles in polymer composites for orthopedic applications. *J. Nanomedicine*, 5: 299–313.

Lü J.-M., Wang X., Marin-Muller C. et al. (2009) Current advances in research and clinical applications of PLGA-based nanotechnology. *Expert. Rev. Mol. Diagn.*, 9(4): 325–341.

Luz G.M., Mano J.F. (2009) Biomimetic design of materials and biomaterials inspired by the structure of nacre. *Philos. Trans. A Math. Phys. Eng. Sci.*, 367(1893): 1587–1605.

Luz G.M., Mano J.F. (2012) A nanotechnology approach to produce hierarchically organized bioactive glass nanoparticles-based macrospheres. *Nanoscale*, 4(20): 6293–6297.

Ma P.X. (2008) Biomimetic materials for tissue engineering. *Adv. Drug. Deliv. Rev.*, 60(2): 184–198.

Newcomb C.J., Bliton R., Velichko Y.S. et al. (2012) The role of nanoscale architecture in supramolecular templating of biomimetic hydroxyapatite mineralization. *Small*, 8(14): 2195–2202.

Ni K., Zhou X., Zhao L. et al. (2012) Magnetic catechol-chitosan with bioinspired adhesive surface: preparation and immobilization of ω -transaminase. *PLoS One*, 7(7): e41101.

Okuda-Shimazaki J., Takaku S., Kanohira K. et al. (2010) Effects of titanium dioxide nanoparticle aggregate size on gene expression. *Int. J. Mol. Sci.*, 11(6): 2383–2392.

Perán M., García M.A., López-Ruiz E. et al. (2012) Functionalized nanostructures with application in regenerative medicine. *Int. J. Mol. Sci.*, 13(3): 3847–3786.

Ricker A., Liu-Snyder P., Webster T.J. (2008) The influence of nano MgO and BaSO₄ particle size additives on properties of PMMA bone cement. *Int. J. Nanomedicine*, 3(1): 125–132.

Rodriguez-Fernandez L., Valiente R., Gonzalez J. et al. (2012) Multiwalled carbon nanotubes display microtubule biomimetic properties in vivo,

enhancing microtubule assembly and stabilization. *ACS Nano*, 6(8): 6614–6625.

Salvaterra T., Alves M.G., Domingues I. et al. (2012) Biochemical and metabolic effects of a short-term exposure to nanoparticles of titanium silicate in tadpoles of *Pelophylax perezi* (Seoane). *Aquat. Toxicol.*, 128–129: 190–192.

Senior A.E. (2012) Two ATPases. *J. Biol. Chem.*, 287(36): 30049–30062.

Shanta Singh N., Kulkarni H., Pradhan L., Bahadur D.A. (2013) Multifunctional biphasic suspension of mesoporous silica encapsulated with YVO₄:Eu(3+) and Fe(3)O(4) nanoparticles: synergistic effect towards cancer therapy and imaging. *Nanotechnology*, 24(6): 065101.

Sharma A.N., Luo D., Walter M.T. (2012) Hydrological tracers using nanobiotechnology: proof of concept. *Environ. Sci. Technol.*, 46(16): 8928–8936.

Situ B., Cao N., Li B. et al. (2012) Sensitive electrochemical analysis of BRAF V600E mutation based on an amplification-refractory mutation system coupled with multienzyme functionalized Fe(3)O(4)/Au nanoparticles. *Biosens. Bioelectron.*, 43: 257–263

Sun J., Wang S., Zhao D. et al. (2011) Cytotoxicity, permeability, and inflammation of metal oxide nanoparticles in human cardiac microvascular endothelial cells: Cytotoxicity, permeability, and inflammation of metal oxide nanoparticles. *Cell. Biol. Toxicol.*, 27(5): 333–342.

Venkatesan J., Kim S.-K. (2010) Chitosan composites for bone tissue engineering — an overview. *Mar. Drugs*, 8(8): 2252–2266.

Wang Q., Webster T.J. (2012) Nanostructured selenium for preventing biofilm formation on polycarbonate medical devices. *J. Biomed. Mater. Res. A*, 100(12): 3205–3210.

Wang S., Qian H., Hu Y. et al. (2012) Facile one-pot synthesis of uniform TiO₂-Ag hybrid hollow spheres with enhanced photocatalytic activity. *Dalton Trans.*, 42(4): 1122–1128.

Wang T., Yu W., Li C. et al. (2012) Biomimetic compound eye with a high numerical aperture and anti-reflective nanostructures on curved surfaces. *Opt. Lett.*, 37(12): 2397–2399.

Wilczewska A.Z., Niemirowicz K., Markiewicz K.H., Car H. (2012) Nanoparticles as drug delivery systems. *Pharmacol. Rep.*, 64(5): 1020–1037.

Xu H., Lu N., Shi G. et al. (2011) Biomimetic antireflective hierarchical arrays. *Langmuir*, 27(8): 4963–4967.

Биомиметика и биомиметические материалы: медико-социальный аспект

З.Р. Ульберг, Н.А. Горчакова, И.С. Чекман

Резюме. Обобщены данные литературы и собственные исследования о физиологических, фармакологических и токсикологических свойствах биомиметических материалов. Описаны свойства основных биомиметических материалов, механизмы их влияния на организм человека. Показана сфера возможного их применения в медицинской практике.

Ключевые слова: биомиметика, биомиметические материалы, свойства, применение, медико-социальный аспект.

Biomimetics and biomimetic materials: medico-social aspect

Z.R. Ulberg, N.A. Gorchakova, I.S. Chekman

Summary. Physiological, pharmacological and toxicological properties of biomimetic materials are generalized in the article. General properties of biomimetic materials and their effects on the human body are described. Areas of their possible application in medical practice are shown.

Keywords: biomimetics, biomimetic materials, properties, application, medico-social aspect.

Адреса для листування:

03057, Київ, просп. Перемоги, 34
Національний медичний університет ім. О.О. Богомольця, кафедра фармакології та клінічної фармакології
E-mail: chekman_ivan@yahoo.co.uk

Одержано 22.03.2013

MedLink.com.ua

СПЕЦІАЛІЗОВАНИЙ САЙТ ON-LINE ОПРОСА ВРАЧЕЙ



Присоединяйтесь!

Для нас важно Ваше экспертное мнение

Приглашаем врачей принять участие в профессиональных опросах MedLink.com.ua

Стремительно растущая аудитория врачей, использующих интернет как в своей практической деятельности, так и в личных целях, дает возможность специалистам здравоохранения активно коммуницировать и высказывать свое экспертное мнение. Проект **MedLink.com.ua** систематизирует наиболее часто применяемые на практике схемы лечения при различных заболеваниях, а также выявляет особенности подходов к терапии среди разных медицинских школ. Все участники проекта могут ознакомиться с предпочтениями своих коллег в лечении при тех или иных заболеваниях и другими интересными данными.

Если Вы занимаете активную профессиональную позицию и хотите стать участником наших опросов, зарегистрируйтесь на сайте **MedLink.com.ua**

регистрация

Мы будем благодарны Вам за участие!

По всем вопросам участия в онлайн-опросах Вы можете обратиться по тел.: (044) 585-97-10 (внутренний 244) или e-mail: info@medlink.com.ua