

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДРОГОБИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ІВАНА ФРАНКА

Кафедра технологічної та професійної освіти

«До захисту допускаю»
завідувач кафедри технологічної та професійної освіти,
доктор педагогічних наук, професор
_____ Леонід ОРШАНСЬКИЙ
«____» травня 2024 р.

**Розробка методичного забезпечення вивчення сучасних
матеріалів для медичної галузі на факультативних
заняттях із технологій**

Спеціальність 014.10 Середня освіта (Трудове навчання та технології)

Магістерська робота

на здобуття професійної кваліфікації – вчитель трудового навчання,
технологій та креслення закладу загальної середньої освіти

Автор роботи: Кенес Любов Юріївна _____
підпис

Науковий керівник: кандидат фіз.-мат. наук, доцент

Павловський Юрій Вікторович _____
підпис

Дрогобич – 2024

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

Зав. кафедри

_____ 27.10.2022 р.
(підпис) (дата)

**ЗАВДАННЯ
на підготовку магістерської роботи**

1. Тема: «Розробка методичного забезпечення вивчення сучасних матеріалів для медичної галузі на факультативних заняттях із технологій».

2. Керівник – канд. фіз.-мат. наук, доцент Павловський Ю.В.

3. Студентка – Кенес Любов Юріївна.

4. Перелік питань, що підлягають висвітленню у кваліфікаційній роботі:

1. Охарактеризувати основні конструкційні та функціональні матеріали для медичної галузі та сфери їх практичного застосування.

2. Проаналізувати основні технологічні процеси отримання біосумісних металів і сплавів, біокерамічних матеріалів та біосумісних полімерів.

3. Розробити методичне забезпечення вивчення сучасних матеріалів для медичної галузі на факультативних заняттях з технологій.

5. Список рекомендованої літератури:

1. Балезюк Ф.В., Куркаєв А.С. Нанотехнології для медицини. Київ: Національний медичний університет ім. Богомольця, 2008. 103 с.

2. Біоматеріали та біосумісність: навчальний посібник / уклад. О.Я. Беспалова. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 97 с.

3. Матеріалознавство та конструкційні матеріали. Практикум: навч. посіб. для студ. спеціальності 163 «Біомедична інженерія» / І.Ю. Худецький, К.В. Ляпіна, Ю.В. Антонова-Рафі. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 147 с.

4. Мельник О.С., Якименко Ю. Біомедичні матеріали: навчальний посібник. Київ: НТУУ «КПІ», 2000. 228 с.

5. Основи біоматеріалознавства: навч. посіб. / О.В. Савцова, Г.К. Воронов, О.І. Фесенко, О.І. Пилипенко. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. 202 с.

6. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: підручник / Д.Ф. Чернега та ін. Київ: Вища школа, 2006. 503 с.

7. Росохін В.В., Ільїнський А.І., Клещев Н.Ф. Біоматеріалознавство: навч. посібн. Харків: НТУ «ХПІ», 2011. 280 с.

8. Уварова І.В., Максименко В.Б. Біосумісні матеріали для медичних виробів: навч. посіб. Київ: Видавництво КІМ, 2013. 231 с.

6. Етапи підготовки роботи:

№ з/п	Назва етапу	Термін виконання	Термін звіту перед керівником, кафедрою
1.	Вивчення й аналіз психолого-педагогічної та методичної літератури; визначення вихідних положень дослідження (об'єкт, предмет, методи); формування мети; постановка завдань.	до 10.03.2023 р.	16.03.2023 р.
2.	Підготовка 1-го розділу роботи.	до 10.10.2023 р.	27.10.2023 р.
3.	Підготовка 2-го розділу роботи.	до 12.02.2024 р.	27.02.2024 р.
5.	Формування висновків. Оформлення роботи.	до 30.04.2024 р.	10.05.2024 р.
6.	Перевірка роботи на плагіат	до 14.05.2024 р.	17.05.2024 р.
7.	Попередній захист роботи і рецензування.	до 21.05.2024 р.	28.05.2024 р.

7. Дата видачі завдання – 27.10.2022 р.

8. Термін подачі роботи керівнику – 14.05.2024 р.

9. Із вимогами до виконання роботи і завданням ознайомлений _____ Кенес Л.Ю.

10. Керівник _____ доц. Павловський Ю.В.

ЗАХИСТ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1. Тема: «Розробка методичного забезпечення вивчення сучасних матеріалів для медичної галузі на факультативних заняттях із технологій».

Оцінка за стобальною шкалою: _____

Оцінка за національною чотирибальною шкалою: _____

Коротка мотивація оцінки захисту:

_____	Голова ДЕК _____	_____
дата	підпис	прізвище та ініціали
	Секретар ДЕК _____	_____
	підпис	прізвище та ініціали

АНОТАЦІЯ

Кенес Л.Ю. Розробка методичного забезпечення вивчення сучасних матеріалів для медичної галузі на факультативних заняттях із технологій. – Рукопис.

Охарактеризовано основні конструкційні та функціональні матеріали для медичної галузі та сфери їх практичного застосування. Проаналізовано основні технологічні процеси отримання біосумісних металів, сплавів, біокерамічних матеріалів і біосумісних полімерів та особливості їх конструкційних і функціональних властивостей. Розроблено календарно-тематичне планування факультативу «Біосумісні матеріали», розширені конспекти занять з практичними роботами у формі кросворду і тестових завдань та підсумкові тести для закріплення вивченого матеріалу, що стимулюватиме пізнавальний інтерес учнів та підвищення ефективності засвоєння навчального матеріалу.

Ключові слова: біосумісні матеріали, матеріали з ефектом пам'яті форми, біокераміка, біосумісні полімерні матеріали, факультатив з технологій, розширені конспекти занять.

ANNOTATION

Kenes L.Yu. Development of methodological support for studying modern materials for the medical field during extracurricular sessions on technologies. – Manuscript.

The main structural and functional materials for the medical field and the scope of their practical application are characterized. The main technological processes for obtaining biocompatible metals, alloys, bioceramic materials, and biocompatible polymers are analyzed, as well as the features of their structural and functional properties. A calendar-thematic plan for the elective course «Biocompatible Materials» has been developed, expanded session outlines with practical tasks in the form of crosswords and test assignments, and final tests to reinforce the material studied, stimulating students' cognitive interest and increasing the effectiveness of learning.

Keywords: biocompatible materials, materials with shape memory effect, bioceramics, biocompatible polymer materials, technology elective, extended course notes.

Зміст

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ I. БІОСУМІСНІ МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ	
ОТРИМАННЯ.....	8
1.1. Формування основних понять біоматеріалознавства	10
1.2. Металеві матеріали у медицині.....	11
1.3. Матеріали з ефектом пам'яті форми для медичних	
імплантів та інструментів	18
1.4. Біокераміка.....	23
<i>1.4.1. Основні характеристики та сфери застосування.....</i>	<i>23</i>
<i>1.4.2. Біоінертна кераміка на основі оксидів алюмінію і цирконію</i>	<i>24</i>
<i>1.4.3. Біоінертна кераміка на основі сапфіру.....</i>	<i>25</i>
<i>1.4.4. Біоактивна кераміка</i>	<i>26</i>
1.5. Біосумісні полімерні матеріали	28
1.6. Технологія отримання біосумісних матеріалів	31
<i>1.6.1. Отримання високоякісної легованої сталі</i>	<i>31</i>
<i>1.6.2. Виробництво титану та його сплавів</i>	<i>33</i>
<i>1.6.3. Виробництво біокераміки і біокерамічних виробів</i>	<i>34</i>
РОЗДІЛ II. МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИВЧЕННЯ	
МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ МЕДИЧНОЇ ГАЛУЗІ НА ФАКУЛЬТАТИВНИХ	
ЗАНЯТТЯХ З ТЕХНОЛОГІЙ.....	38
2.1. Тематичне планування факультативу «Біосумісні матеріали»	38
2.2. Розробка розширених конспектів уроків	40
2.3. Розробка тестових завдань	63
ВИСНОВОК	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	69

ВСТУП

Актуальність теми. Основним трендом третього тисячоліття є покращення якості і тривалості життя людини. Не останню роль у цьому процесі відіграють нові розробки у галузі біоматеріалознавства. Сьогодні біосумісне матеріалознавство – одна з перспективних галузей, яка має тенденцію до стрімкого розвитку. У сучасній медицині для відновлення втрачених функцій органів людини використовується понад 40 біосумісних матеріалів, попит на які стрімко зростає.

Розробка біосумісних матеріалів є мультидисциплінарною задачею і потребує спільної взаємодії фахівців з хімії, фізики, біології, медицини та технологій. Функціональна надійність матеріалів залежить від біохімічної, кліткової, тканинної, біомеханічної сумісності. При сучасному розвитку медицини потреба у біосумісних матеріалах тільки зростає. Вони постійно затребувані в ортопедії, стоматології, серцево-судинній хірургії для виготовлення імплантів, ендопротезів, штучних клапанів серця і протезів судин, виготовлення хірургічного інструменту, штучних систем кровообігу та штучних органів людини. При створенні виробів медичного призначення медичні інженери застосовують матеріали як натурального, так і штучного походження [1].

Сучасна індустрія біоматеріалів потребує фундаментальних знань з матеріалознавства, медицини, біомеханіки і з кожним роком зростає потреба у фахівцях з біоінженерії. У цьому ланцюжку, як фундаментальну основу, має відігравати шкільна дисципліна «Технології» у тісному міжпредметному зв'язку з біологією, фізикою та хімією.

Отже, розробка методичного забезпечення вивчення сучасних матеріалів для медичної галузі на факультативних заняттях з технологій є важливим та актуальним завданням.

Об'єкт дослідження: сучасні біосумісні матеріали.

Предмет дослідження: методика вивчення технологій отримання та сфер практичного використання біосумісних матеріалів.

Мета дослідження: аналіз основних технологій отримання, властивостей

та сфер практичного застосування біосумісних матеріалів; розробка методичного забезпечення факультативних занять з біосумісного матеріалознавства.

Для реалізації поставленої мети вирішувалися такі **завдання**:

1. Охарактеризувати основні конструкційні та функціональні матеріали для медичної галузі та сфери їх практичного застосування.
2. Проаналізувати основні технологічні процеси отримання біосумісних металів і сплавів, біокерамічних матеріалів та біосумісних полімерів.
3. Розробити методичне забезпечення вивчення сучасних матеріалів для медичної галузі на факультативних заняттях з технологій.

Теоретичне значення роботи: Охарактеризовано основні конструкційні та функціональні матеріали для медичної галузі та сфери їх практичного застосування. Проаналізовано основні технологічні процеси отримання біосумісних металів і сплавів, біокерамічних матеріалів та біосумісних полімерів. З'ясовано, що основною їхньою перевагою є біотолерантність, біоінертність та біоактивність, тобто вони не взаємодіють із біологічними системами людини та розкладаються у природному середовищі після використання. Крім того, сучасні матеріали для медичної галузі відрізняються високою міцністю, стійкістю до корозії та зношування.

Практичне значення роботи: Розроблено календарно-тематичне планування факультативу «Біосумісні матеріали», розширені конспекти занять з практичними роботами у формі кросворду і тестових завдань та підсумкові тести для закріплення вивченого матеріалу, що стимулюватиме пізнавальний інтерес учнів та підвищення ефективності засвоєння навчального матеріалу.

Апробація роботи: За результатами магістерської роботи опубліковано статтю у матеріалах X-ї Міжнародної науково-практичної конференції студентів та викладачів факультету фізики, математики, економіки та інноваційних технологій.

Структура роботи: магістерська робота викладена на 72 сторінках і сформована зі вступу, двох розділів, висновків та списку використаних літературних джерел з 41 найменування.

РОЗДІЛ І.

БІОСУМІСНІ МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ ОТРИМАННЯ

1.1. Формування основних понять біоматеріалознавства

Однією з значних подій світової науки минулого ХХ століття по праву вважають усвідомлення потреби виділення в спеціальну самостійну наукову дисципліну (окрему галузь знання) біоматеріалознавства, покликаною вирішувати спеціальні питання теорії та практики застосування штучно синтезованих або природних матеріалів «для запасних частин людського тіла». Досягнення біоматеріалознавства в останні тридцять років змінили медичні технології травматології та ортопедії, відновлювальної та реконструкційної, естетичної хірургії, отоларингології, офтальмології, кардіології та інших областей, що покращують біоантропологічні показники життя людини та рівень її соціальної. Із задоволенням можна констатувати, що за ці роки створені та впроваджені в медичну практику вітчизняні біоматеріали, що дозволяють надавати пацієнтам допомогу на рівні сучасних світових досягнень медицини. Щорічний обсяг продажів сучасних біоматеріалів та виробів з них на світовому ринку (без урахування російського) наближається до 200 мільярдів доларів! [2]

Щороку об'єм продажу сучасних біоматеріалів та виробів з них на світовому ринку наближається до 200 мільярдів доларів!

Саме біоматеріалознавцям вдалося осмислити гігантський досвід емпіричного застосування в медичній практиці матеріалів різної природи, обґрунтувати принципи цілеспрямованої розробки та отримання біоматеріалів з комплексом заданих властивостей, функціонально орієнтованих на застосування у конкретній галузі біології та медицини. Як і в будь-якій міждисциплінарній галузі дослідження, нові підходи біоматеріалознавства до вирішення завдань не зводяться до простої суми знань матеріалознавства та медицини. Об'єктом дослідження біоматеріалознавства, що містить основне дослідницьке протиріччя, виступають складні багаторівневі взаємодіючі системи живого організму (від клітинного до органного рівня) і неживих

матеріалів (виготовлених з них імплантатів, конструкцій тощо).

Біоматеріал (в редакційних документах Світових Конгресів біоматеріалознавства з 1986 по 2001 роки) незмінно визначається як «нежиттєздатний матеріал, який використовується для взаємодії з біологічною системою у медичних цілях». Але на усвідомлення очевидного факту, що багаторівневі біосистеми живого організму вимагають адекватного інформаційного опису цієї взаємодії з матеріалом у науковій спільноті пішло багато часу. Дискусійне обговорення термінів, визначень специфічних властивостей біоматеріалів затягуючись, не дозволяло рухатися до вирішення практичних завдань. Можна стверджувати, що плутанина понять, яка мала місце в науковій літературі, визначень біоактивності, біосумісності, які проявляються матеріалом у контакті з живим організмом, була пов'язана не так з недостатністю знань, а й з тим, що групу властивостей намагалися визначити одним поняттям. Однак, починаючи з 80-х років, науковці для того, щоб чітко сформулювати вимоги до властивостей біоматеріалів, почали розвивати теоретичний, методологічний апарат біоматеріалознавства і для початку розділили різноманітні сенси термінів та визначень, як це зробили, наприклад, фізики на зорі XVIII століття, виділивши з одного поняття «сила» інші поняття – енергію, потужність, роботу [2].

Вчені звернули увагу на низку загальнобіологічних законів, які стосуються організації та розвитку живих біосистем, зокрема, закон системної організації біохімічних процесів, який визначає ряд характеристик біосистеми. Спираючись на ці характеристики, було прийнято, що біоматеріал, який вводить в контакт біологічними системами і взаємодіє з ними впродовж якогось часу, може бути охарактеризований трьома властивостями: біоактивністю, біосумісністю та біорезистентністю [3, 4].

Отже, одним з ключових аспектів біоматеріалів є їх відповідь на взаємодію з внутрішнім середовищем живого організму впродовж тривалого періоду часу. Всі матеріали поділяються на категорії відповідно до реакції організму таким чином [5, 6]:

- біотоксичні – несумісні з живим організмом і спричиняють негативні чи

патологічні реакції у навколишніх тканинах, а також активують захисну реакцію імунної системи організму. При контакті з біотоксичним матеріалом в організмі можуть виникати патологічні зміни, атрофія або відторгнення живих тканин від матеріалу, викликані токсичним впливом складових речовин матеріалу. Наприклад: системи, які містять Co, Ni, V, Cr, Cu, Bi, бориди та гідриди, карбіди й деякі нітриди;

- біосумісні – які можуть здійснювати різноманітні функції всередині організму впродовж тривалого періоду без накопичення негативних змін у ньому. При цьому, чим менше негативних реакцій відбувається в організмі на присутність матеріалу, тим більша його біосумісність.

Реалізація біосумісності, тобто рівноваги біоматеріалу з живим організмом відбувається у результаті накопичення змін, як в матеріалі так і в живому середовищі, причому види і механізми цих змін досить різні.

Залежно від цих процесів всі біосумісні матеріали можна розділити на такі групи: біотолерантні, біоінертні, біоактивні.

1. Біотолерантні – матеріали, які можуть функціонувати в живому організмі завдяки тому, що їх негативний вплив нейтралізується за рахунок компенсаторних властивостей організму наприклад, вони ізолюються від організму – інкапсулюються – шляхом утворення навколо імплантату шару сполучної тканини різної товщини. Наприклад: нержавіючі сталі, сплави Ti, Ta, Zr, Mo.

2. Біоінертні – це біостабільні, біологічно неактивні матеріали які не взаємодіють із фізіологічним середовищем організму, співіснують без помітних змін і відокремлюються від нього шаром сполучних волокнистих тканин (товщина яких зменшується до рівня декількох клітинних шарів). З неорганічних біоматеріалів до біоінертних належать найбільш хімічно інертні речовини, це тугоплавкі оксиди: оксид цирконію, оксид алюмінію. Енергія хімічного зв'язку в тугоплавких оксидах достатньо велика, клітинні та ферментативні системи організму не можуть зруйнувати, або змінити цей зв'язок, незважаючи на різноманітність і багатосторонність своїх впливів. Біоінертні матеріали залишаються незмінними протягом тривалого терміну

перебування в організмі, не викликають будь-яких негативних реакцій з боку організму, залишаються не реакційно здатними для біологічних систем організму.

3. Біоактивні матеріали – матеріали які здатні утворювати безпосередньо біохімічні зв'язки з навколишніми тканинами живого організму.

Самостійною властивістю є біорезистентність, під якою розуміють здатність матеріалу протистояти всім комплексом впливів середовища, тканин організму впродовж визначеного періоду часу та зберігати фізико-хімічні та механічні властивості матеріалу (змінювати їх у визначений спосіб). Для матеріалів протезного призначення важливо, щоб біорезистентність була високою, у даному випадку вона виступає як прогностичний фактор для обґрунтування виготовлення з нього протезної конструкції. Ступінь біорезистентності, разом зі складом, визначається умовами контакту, складами біосередовищ, механізмами біодеградації та можливістю включення продуктів біодеградації у метаболічні цикли організму.

1.2. Металеві матеріали у медицині

Метали – це група речовин, які дуже відрізняються між собою різними властивостями через природу хімічних зв'язків у їх структурі та різним впливом на структуру живої тканини організму. Потрапляння металу в організм може викликати різні реакції. Ці реакції безпосередньо пов'язані з фізіологічним станом самого організму. Наприклад, у медицині давно відомі випадки, коли частки вуглецевої сталі, які потрапили в організм, капсулювалися у волокнистих тканинах, залишаючись при цьому в організмі десятками років і поводячи себе як біоенергетичний матеріал, так і протилежні випадки, коли інший організм сприймав таке стороннє тіло, як токсичний матеріал і приводив до летальних випадків [7].

Металеві матеріали набули широкого застосування у медицині і широко використовуються в ортопедії для виготовлення різних конструкцій, медичного обладнання, інструментів для стоматології та хірургії, у протезах та імплантах, внутрішніх електричних пристроях.

Найчастіше у медицині використовують такі металеві біоматеріали, як нержавіючі сталі, сплави титану і кобальту. Також у невеликій кількості використовують благородні метали: срібло, золото, платина. Завдяки хімічній інертності їх наносять тонкою плівкою на матеріали з менш вираженими біосумісними властивостями.

Метали відносять до найміцніших речовин. Цей факт робить їх незамінними при виготовленні медичних інструментів і медичної техніки. Перш за все при виборі того чи іншого конструкційного матеріалу при створенні інструментів враховуються різні фактори: фізичні і механічні властивості металу, старіння, біосумісність, корозійна стійкість. Наприклад, хірургічні інструменти, крім механічних навантажень, піддаються ще хімічному впливу біологічних речовин, тобто вони не повинні утворювати шкідливих хімічних сполук для організму при контакті з ними. Для їх виготовлення в залежності від задач використовують ряд кольорових і чорних металів і сплавів. Наприклад, для виготовлення хірургічних колючих ріжучих інструментів широко використовують вуглецеві якісні сталі марок У8А, У10А та нержавіючі сталі 40Х13. Для медичних інструментів застосовуються якісні вуглецеві сталі, що мають в своєму складі менший вміст сірки (до 0,02%), фосфору (до 0,03%). Наприклад, ножиці медичного призначення виготовляють з нержавіючої сталі 40Х13. Інструменти з нержавіючої сталі менше піддаються механічним пошкодженням, що впливає на збереження стерильності інструмента та іншого обладнання. Для виготовлення скальпелів, які потребують твердості леза, використовують вуглецеві інструментальні сталі марки У10А та У12А із вмістом вуглецю 1,1-1,25%.

Сталь у конструкції імплантів не повинна містити більше 0,08% вуглецю [8]. Більша відсоткова кількість викликає корозію матеріалу і в подальшому відторгнення організмом. Застосовуються марки 40Х13 і 03Х17Н14М2 дозволяють максимально уникнути цього явища. Ці марки сталі дешеві, з гарними ливарними властивостями.

Всі метали та їх сплави рано чи пізно піддаються корозії у соляних-лужних середовищах організму. Науковцями інтенсивно проводиться пошук

нових сплавів, які можуть утримувати або утворювати хімічно-стійкі біоенергетичні плівки [9]. Для імплантації розроблена корозійностійка сталь 316L, хімічний склад якої наведено в табл. 1.1, а механічні властивості – у табл. 1.2. Добавки хрому у цій сталі реагують із киснем, утворюючи корозійностійкий поверхневий шар оксиду хрому [8].

Таблиця 1.1

Корозійностійка сталь 316L

Fe	Cr	Ni	Mo	C	Si	Mn	S	P
Основа	17–20	10–14	2–4	0,03 max	1,0 max	2,0 max	0,01 max	0,04 max

Таблиця 1.2

Механічні властивості сталі 316L

Параметр	Розмірність	Відпалена	Деформована
Межа міцності	МПа	600–700	1000–1050
Межа плинності	МПа	240–300	700–800
Модуль Юнга	МПа	200 000	–
Видовження	%	35–55	7–10
Твердість	HRC	24–26	36–38

Таблиця 1.3.

Метали які використовуються у реконструктивній ортопедії

Нержавіюча сталь	Остеосинтез, з'єднувальне відновлення функції суглоба
Co–Cr–Mo-сплави	З'єднувальне відновлення функції суглоба та остеосинтез
Co–Ni-сплави	З'єднувальне відновлення функції суглоба та остеосинтез
($\alpha + \beta$)-Ti-сплави	З'єднувальне відновлення функції суглоба та остеосинтез
β -Ti-	Остеосинтез
Ni–Ti (нітінол)	Остеосинтез
Ta	Прирощування кісток

У медицині разом з іншими матеріалами широкого застосування набув титан та сплави на його основі (рис. 1.1). В основному застосовуються сплави титану. Модуль пружності Co–Cr-сплавів – 210 ГПа, Ti – 110 ГПа, що логічно показує переваги сплавів перед чистим титаном, хоча чистий титан застосовується у стоматологічних імплантатах у якості основи для нанесення пористих покриттів. Слід також зазначити, що міцність кісткової тканини –

20 ГПа, титан і його сплави перевищують ці показники в 5-10 разів [7, 8].

Застосування титану і його сплавів в якості матеріалу для імплантів зумовлене рядом його властивостей і переваг над іншими металевими матеріалами: висока біосумісність, корозійна стійкість, амагнітність, низька теплопровідність, малий коефіцієнт лінійного розширення, не токсичність [10]. Титан і його сплави знайшли широке застосування в ендопротезуванні суглобів та відновленні кісток черепа (рис. 1.2).



Рис. 1.1. Самородок чистого титану

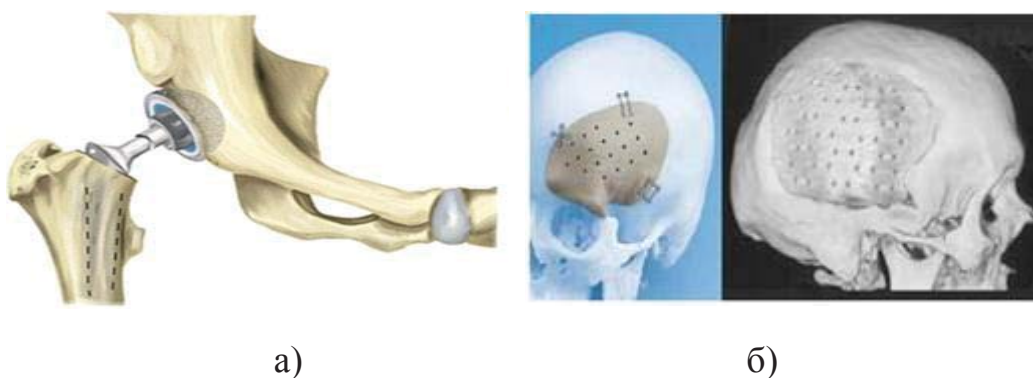


Рис. 1.2. Титановий ендопротез тазостегнового суглобу (а), краніопластика з використанням титанової пластини (б)

Розроблені сплави титану з нікелем, які стали називати нікелідом титану, відкрили новий напрямок у трансплантології, використовуючи ефект запам'ятовування форми металу в поєднанні з біоінертністю дозволило сконструювати нові пристрої для лікування багатьох хвороб. Наприклад, сконструйовані стенти для розширення пошкоджених судин на принципі зміни об'єму стенту при різних температурах. Стент при кімнатній температурі має

менші розміри, при нагріванні до температури людського тіла він розширюється до заданого діаметру (рис. 1.3).

Сплав Ni-Ti має 49,5-57,5% нікелю, а решту – Ti. Розробка даного сплаву дозволила гарантувати довічну трансплантацію стентів без негативного впливу на організм хворого. Також на основі нікеліну титану розроблені ортодонтальні конструкції для розширення проміжків між зубами, які набагато прискорюють цей процес в порівнянні з традиційними методами корекції цієї проблеми, також ефект пам'яті металу знайшов своє застосування у травматології і хірургії (рис. 1.4).

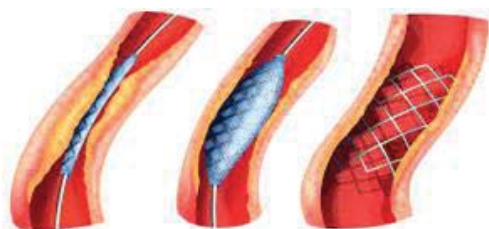


Рис. 1.3. Процес встановлення стенту з нікеліду титану



Рис. 1.4. Набір імплантів з нікеліду титану для травматології (у вигляді скоб, скрепів, фіксаторів)

Тантал – один із цінних металів, що використовується в медицині, який у хорошому сенсі конкурує з титаном за різними показниками. Даний конструкційний матеріал поєднує в собі високі показники твердості та пластичності, у чистому вигляді добре піддається механічній обробці будь-яким методом. Значення модуля пружності танталу 190 ГПа/м^2 , що дає можливість виготовляти дуже тонкий дріт діаметром 0,039 мм в якості хірургічного матеріалу для зрощування нервових волокон. Також тантал є виключно корозійно- і кислотостійким матеріалом, що надає йому високої біосумісності з організмом людини. Слід зазначити, що в багатьох галузях тантал може успішно замінювати метали платиноїдної групи як дешевший метал [8]. З танталових напівфабрикатів, таких, як лист, прутки, дріт виготовля-

ють конструкції, які потрібні в пластичній, кардіо-, нейронно-, остеохірургії для накладання і зрощування кісток, стенозування судин [7, 8, 10]. Біоенергетичність даного металу дозволяє використовувати його для ендопротезування у відновлювальній хірургії та стоматології (рис. 1.5, рис. 1.6).



Рис. 1.5. Цільні зубні імпланти Zimmer з пористого танталу

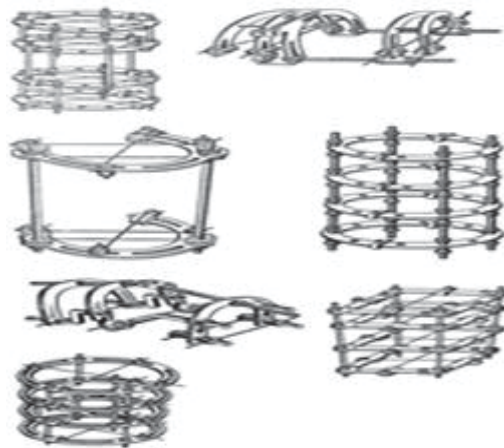


Рис. 1.6. Титанові і танталові конструкції для остеосинтезу

Нержавіюча сталь 316L, стійка до корозії у багатих сіллю рідинах організму завдяки високому вмісту хрому (17-20% за вагою) та низькому вмісту вуглецю (менше 0,03%). Додавання молібдену (Mo) до сплаву покращує стійкість до пітингової корозії; нікель додається для стабілізації аустенітної фази при кімнатній температурі і для посилення стійкості до корозії. Механічні властивості нержавіючої сталі 316L значною мірою залежать від відпалу або холодної обробки. Холоднооброблений (кутий) метал значно міцніший. Нержавіючі сталі, як правило, використовуються для тимчасових імплантатів через чутливість до локальної корозії, де відбуваються концентрації напруги та кисневе виснаження, як це має місце під гвинтами пластини, що використовується для фіксації перелому [11].

В ортопедії використовуються два типи кобальто-хромових сплавів: один сплав для виготовлення продукції за допомогою лиття (Co-Cr-Mo: F75) та інший – для кування пристроїв (ковані пристрої) (Co-Cr-W-Ni: F90) (рис. 1.7). Сплав Co-Cr-Mo є дуже стійким до корозії в соляних розчинах організму, навіть під дією напруг, завдяки високому вмісту Cr, що утворює захисну плівку оксиду хрому на поверхні [11].

Ковані сплави Co-Cr мають відмінну міцність на розтяг і втомну міцність, що робить їх більш переважними для імплантатів, що вимагають довговічності без втомного руйнування і втомних напруг (зокрема, для протезів всього суглоба).

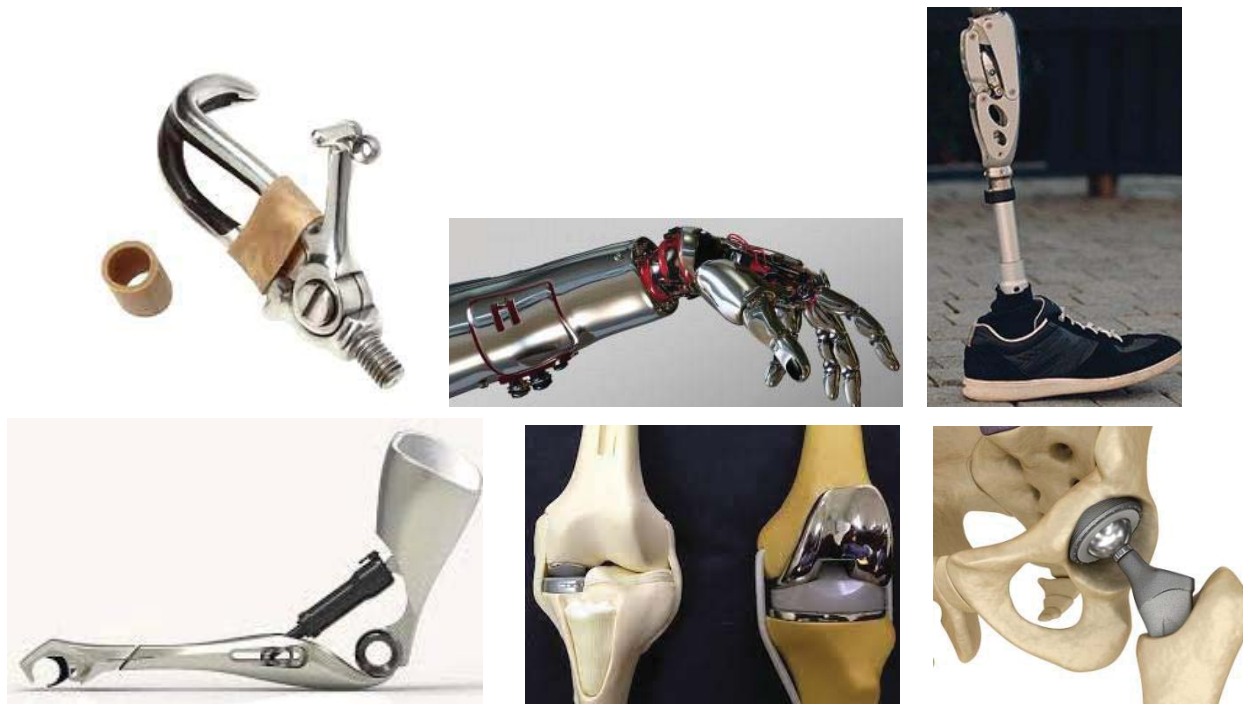


Рис. 1.7. Протези з кобальто-хромових сплавів

Найбільш доцільним титановим сплавом, який використовується для імплантатів, є Ti_6-Al_4-V (рис. 1.8). Додавання 6% алюмінію стабілізує шестигранну щільно упаковану (α -Ti) фазу, а додавання 4% ванадію стабілізує відцентровану по тілу кубічну фазу (β -Ti). Дрібнозерниста двофазова мікроструктура забезпечує відмінну механічну міцність Ti_6-Al_4-V , при цьому її модуль пружності нижчий від модуля і нержавіючої сталі, і Co-Cr, що може зменшити екранування кістки від напруг до середнього рівня [10].



Рис. 1.8. Титанові імпланти

Значною перевагою сплавів Ti є їхня чудова стійкість до корозії завдяки утворенню дуже стабільної фази окислу TiO_2 на поверхні під час обробки. Погана міцність на зсув і втомна чутливість до надрізів роблять сплави Ti менш привабливими для деяких типів пристроїв внутрішньої фіксації.

1.3. Матеріали з ефектом пам'яті форми для медичних імплантів та інструментів

Для медичних імплантів та інструментів особливою популярністю користуються функціональні матеріали з ефектом пам'яті форми (МПФ). Сплави відрізняються тим, що у пластично деформованому стані відновлюють свою початкову форму відразу ж після зняття навантаження або після нагрівання. Наприклад, якщо дріт при високій температурі закрутити в спіраль, а при кімнатній температурі випрямити, то при повторному нагріванні дріт знову мимоволі закрутиться у спіраль [12-14].

Механізм цього явища пов'язаний із так званим термopужним мартенситним перетворенням. До матеріалів з таким ефектом відносять сплави Ni-Ti, Ni-Al, Cu-Al-Ni та ін. Найбільш відомим сплавом з пам'яттю форми є нітінол (Ni-Ti). Він має високі показники міцності: межа міцності до 1,1 ГПа; деформація до руйнування – 15%.

Застосування цих сплавів особливо доцільне для виготовлення імплантатів та пристроїв у разі потреби суттєвого зменшення розмірів та маси конструкцій при одночасному збереженні високих характеристик міцності. Як приклад може бути наведена схема роботи екстрактора для вилучення каменів із сечоводу. Екстрактор, виготовлений з наноструктурного нітінолу, вводиться у сечовід у вигляді дроту. Відновлення необхідної (заданої заздалегідь) форми у вигляді петлі здійснюється за рахунок температури людського тіла або при слабкому нагріванні електричним струмом.

Важливим прикладом практичного застосування нітінолу є пристрій для кліпування кровоносних судин, трубчастих структур та м'якоеластичних тканин, призначений для зупинки кровотечі при лапароскопічних операціях.

Дуже тривалий період були сумніви в можливості використання нікеліду

титану в якості матеріалу для імплантатів, оскільки в ньому присутні більше 50% нікелю, який є токсичним елементом і викликає алергію, як наприклад, при використанні нержавіючої сталі, що містить всього близько 8% нікелю. Але численні дослідження показали, що нітінол біологічно інертний. Справа в тому, що нікелід титану є інтерметалідною сполукою, де атоми нікелю і титану міцно зв'язані між собою, і їх дифузійна рухливість сильно обмежена. У нержавіючих сталях нікель входить до складу твердого неупорядкованого розчину і досить легко переміщається в кристалічній решітці і виходить за межі імплантату. Крім того, імплантати з нікеліду титану самопасивуються щільною плівкою TiO_2 зі структурою анатазу, що перешкоджає корозії та дифузії через себе іонів нікелю. Але необхідно пам'ятати, що висока біосумісність характерна для однорідних за складом сплавів, що не піддаються в організмі зношуванню від контакту з іншими матеріалами. Тому дуже важливо дотримання технології виробництва сплаву та правил проектування конструкції імплантату та його використання у медичній практиці. На жаль цього не завжди дотримується, і часто застосовуються імплантати з нікеліду титану, отримані високою температурним синтезом, що самопоширюється, в якому дуже висока неоднорідність хімічного складу (крім нікеліду титану в матеріалі може бути присутнім і чистий нікель). Контакт імплантату з нікеліду титану з нержавіючою сталлю або кобальтовим сплавом, що призводить до утворення гальванічної пари та інтенсивної корозії, також не допускається. У даний час проводяться роботи зі зниження цих негативних явищ, наприклад, за допомогою захисних покриттів імплантатів та інших видів обробки поверхні [13, 14].

Важливою особливістю застосування МПФ у медицині є його надпружна поведінка при температурі тіла людини. У цьому стані імплантат здатний до значних змін своєї форми під дією функціонального навантаження. При цьому жорсткість імплантату близька до жорсткості біологічних тканин (кістки, хряща, зв'язок), які заміщує або зміцнює імплантат (рис. 1.9). Це дуже важливий показник механічної сумісності МПФ та матеріалів тканин [12], і вигідно їх відрізняє від конструкційних сплавів (сталей, кобальтових та титанових сплавів). Крім того сплави на основі нікеліду титану мають високу

деформаційну циклостійкість, що дозволяє їх експлуатувати при перевищенні пружної деформації (до 1,5%) впродовж 10^6 - 10^8 циклів.

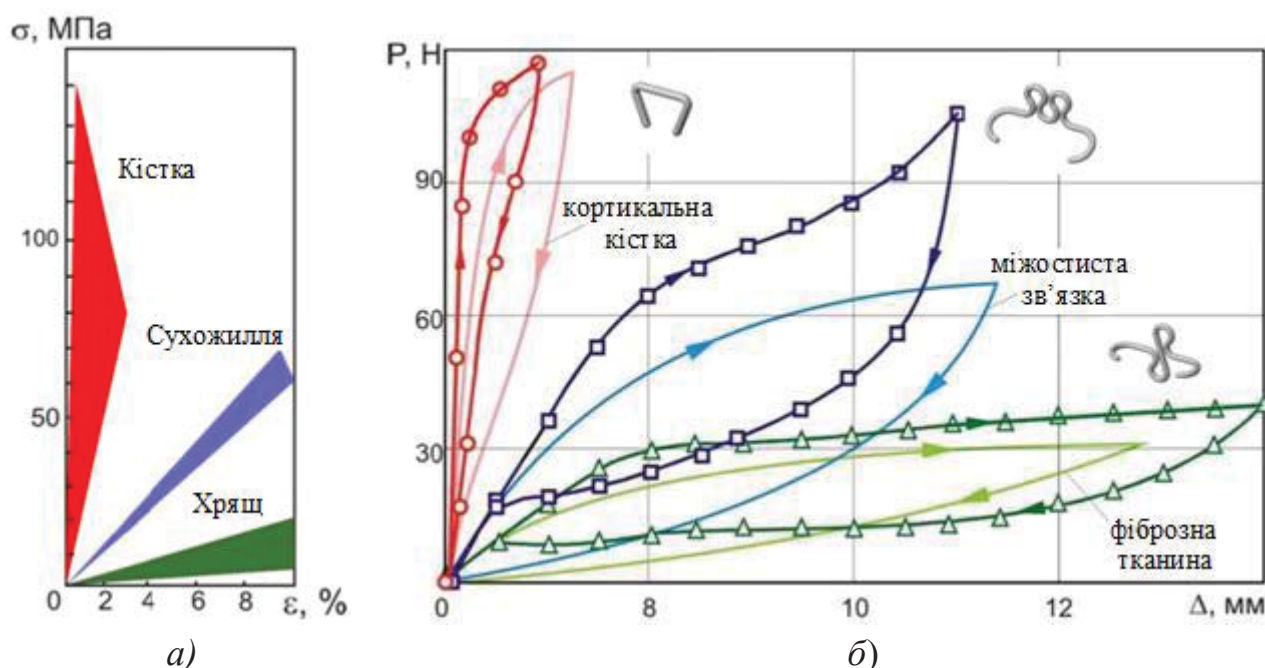


Рис. 1.9. Порівняння механічної поведінки біологічних структур та імплантатів з МПФ (механічна сумісність): механічні властивості (а) та криві навантаження-розвантаження при 37°C (б) біологічних структур та фіксаторів різної форми з нікеліду титану

У даний час з нікеліду титану виготовляють надпружні інструменти та імплантати [13]. Особливо широко використовуються в ендovasкулярній хірургії. У цьому випадку імплантат або інструмент поміщають у катетер малого діаметра і за допомогою ендоскопа через артерію або інший порожнистий орган доставляють до місця хірургічного втручання. Конструкцію з нікеліду титану виштовхують у порожнистий орган, де він за рахунок надпружності прагне набути вихідної форми. Прикладом таких конструкцій можуть бути стенти циліндричної форми, які розширюють область судини перекритої склеротичною бляшкою і відновлюють потік крові (рис. 1.10, а). Аналогічно функціонує літоекстрактор, за допомогою якого видаляють каміння із сечоводу та нирок (рис. 1.10, б). Для цього після проходження катетером каменю з нього виводять пастку у вигляді сітки, в яку при виведенні катетера потрапляє камінь і видаляють із організму.

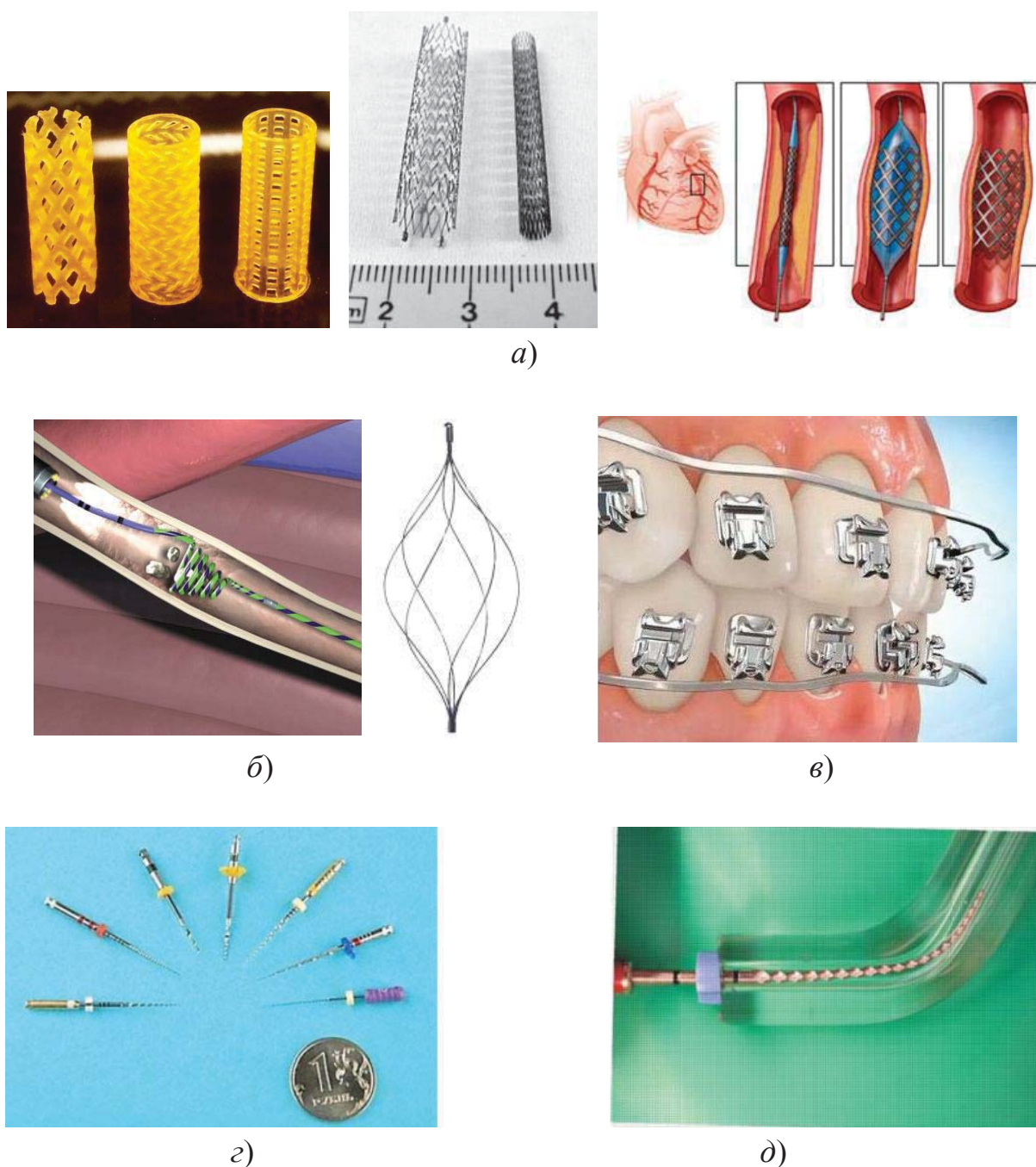


Рис. 1.10. Приклади використання МПФ у медичних імплантатах та інструменті: а) дилатуючі стенти для судин та порожнистих органів; б) літоекстрактор для видалення каміння; в) ортодонтичні дуги у складі брекет-системи; г), д) стоматологічні свердла для обробки викривлених зубних каналів

Ефективно використовують дровові елементи для виправлення прикусу зубів. Елементу надається вихідна форма у вигляді анатомічно правильної дуги, яка кріпиться до зубів за допомогою брекетів (рис. 1.10, в). Прагнучи надпружно повернутися до своєї вихідної форми, дротяний елемент поступово і

атравматично приводить зуби у правильне положення. Прикладом використання нікеліду титану для виготовлення медичних інструментів можуть бути стоматологічні надпружні бури для свердління та обробки викривлених зубних каналів (рис. 1.10, з, д).

В останні кілька років почали застосовуватися імпланти з нікеліду титану для кріплення кісткових фрагментів (остеосинтезу), заміщення зв'язково-хрящових структур хребта та виправлення деформацій опорно-рухового апарату людини (рис. 1.11).

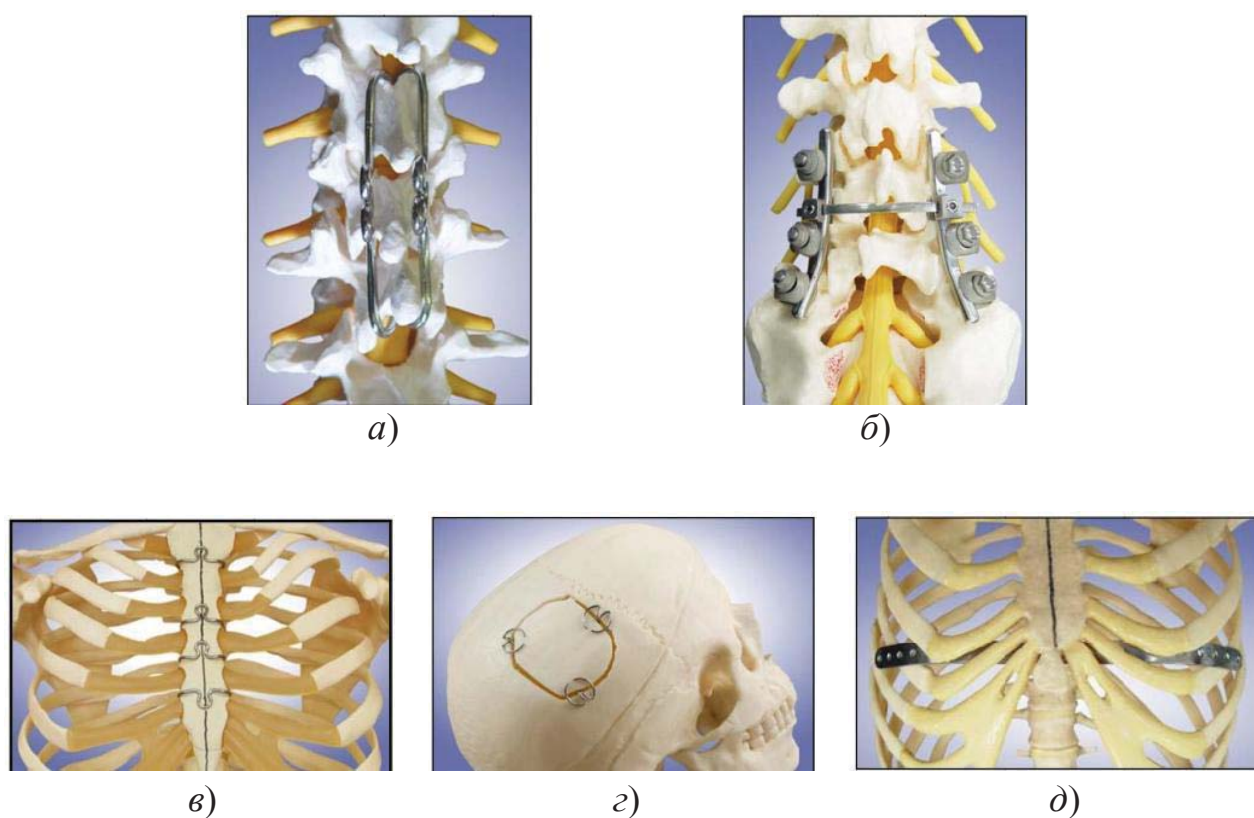


Рис. 1.11. Застосування МПФ у медичних виробках різного призначення: а, б) фіксатори динамічної стабілізації хребта; в) фіксатори для остеосинтезу груднини; г) фіксатори для остеосинтезу кісток черепа; д) пластина для виправлення лічкоподібної деформації грудної клітки

У цих випадках імплантат повинен спричиняти певний силовий вплив на структуру організму та найчастіше виконувати опорні функції. Тому їх установка неможлива в стані надпружності, тому що вимагає значних зусиль лікаря і стає травмонебезпечною. У даному випадку необхідно використовувати

ефект пам'яті форми, причому температура відновлення форми має бути $35\pm 1^{\circ}\text{C}$. Тільки в тому випадку лікар матиме достатній резерв часу для встановлення охолодженого та деформованого імплантату, а відновлення вихідної форми стимулюватиметься теплом людського тіла. На цьому принципі ґрунтується виробництво фіксаторів для динамічної стабілізації хребта, остеосинтезу грудини, пластини для виправлення ліycopодібної деформації грудної клітки тощо.

1.4. Біокераміка

1.4.1. Основні характеристики та сфери застосування

Професор Л. Хенч говорив про два етапи революційного впливу кераміки на розвиток всього людства. По-перше, коли людина зрозуміла, що вогонь може перетворювати глину в кераміку, це дало імпульс для розвитку землеробства, що, в свою чергу, значно поліпшило якість і тривалість життя. По-друге, коли кераміку, як матеріал, стали застосовувати у медицині [8].

Кераміка – це матеріали на основі оксидів, карбідів, нітридів, боридів та інших хімічних сполук, які отримують шляхом високотемпературного спікання порошків цих речовин під високим тиском. У залежності від того, на основі якої сполуки формується кераміка, відповідно змінюються її властивості. Кераміка як матеріал має такі фізико-хімічні характеристики: твердість, зносостійкість, хімічну стійкість до біологічних рідин організму людини [8, 15, 16]. Як і всі біоматеріали, так і біокераміка повинна відповідати наступним вимогам: відсутність токсичних хімічних реакцій із тканинами і міжтканинними рідинами організму. Біокерамічні матеріали найбільш сумісні з організмом людини і мають найменший негативний вплив на імунну систему і кращі механічні властивості порівняно з іншими матеріалами, що використовують в конструкції імплантів [16]. Кераміка здатна перебувати в живому організмі тривалий час та виконувати відповідні функції. Даний конструкційний матеріал може витримувати великі стискаючі навантаження, має високу твердість та хімічну інертність. Але кераміка має такий недолік, як крихкість, і тому вона використовується в поєднанні з іншими матеріалами,

частіше за все з металами і їх сплавами в якості покриття.

Сьогодні розроблено багато конструкцій високотехнологічних імплантатів, які майже повністю відновлюють природну здатність до руху, при цьому в конструкціях поєднують міцність біоінертних металів із зносостійкістю біокераміки. Основні сфери застосування біокераміки наведено у табл. 1.4.

Таблиця 1.4.

Сфери застосування біокераміки

Матеріал	Біологічний стан	Типові сфери застосування
Фосфат кальцію	Біосумісний, найчастіше резорбний	Заміна кісток, покриття на імплантати
Біоскло	Біосумісний, найчастіше резорбний	Заміна кісток
Оксид алюмінію	Біосумісний, нерезорбний	Головки суглобів, їхні чашечки в ендопротезах, замінники зубів
Діоксид цирконію	Біосумісний, нерезорбний	Головки суглобів, їхні чашечки в ендопротезах, штифти зубних коренів
Склокераміка на основі SiO_2 (K_2O - Na_2O - Al_2O_3)	Біосумісний, нерезорбний	Зубна техніка: облицювання і коронки, штучні зуби

1.4.2. Біоінертна кераміка на основі оксидів алюмінію і цирконію

Оксид алюмінію або корунд ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) є біосумісною хімічно-інертною основою для виготовлення кераміки, що використовуються для імплантатів, які несуть високі механічні навантаження. Найбільш розповсюдженою модифікацією кристалу оксиду алюмінію називають корундом. Корундова кераміка за своєю структурою виступає у вигляді полікристалічного матеріалу, який називають сапфіром або рубіном. Головна сфера застосування корундової кераміки – це виготовлення найбільш навантажених чашечок і головок ендопротезів суглобів. Одним із розповсюджених методів отримання щільної кераміки є гаряче ізостатичне пресування. Перед тим, як почати процес відпалювання виробу, надається задумана форма. Після спікання виробу може бути виконана подальша механічна обробка (фрезерування, шліфування, полірування) діамантовим інструментом на спеціальних верстатах. Основними характеристиками, яким мають відповідати готові вироби це є: щільність

спечених заготовок $3,90-3,95 \text{ г/см}^3$, міцність на стискання не нижча 580 МПа при шорсткості Ra в межах 0,01-0,03 мкм. Час експлуатації даного біокерамічного матеріалу визначається низькотемпературною деградацією та опором до поширення тріщин [17].

Кераміка на основі діоксид цирконію (ZrO_2) використовується у медицині як альтернатива корундовій кераміці. Цирконієва кераміка застосовується для виготовлення ендопротезів і в якості стоматологічного матеріалу. Показник міцності даного матеріалу на стискання становить 1000-1200 МПа, що відповідає показнику міцності сплавів на основі титану, що дозволяє її використовувати в конструкціях ендопротезів суглобів [8]. Технологія отримання кераміки на основі оксиду цирконію, також як і корундової кераміки, базується на гарячому ізостатичному пресуванні. Порівняльні властивості керамік на основі діоксидів алюмінію та цирконію показана в табл. 5.

Таблиця 1.5.

Порівняльні властивості біоінертної керамік на основі діоксидів
алюмінію та цирконію

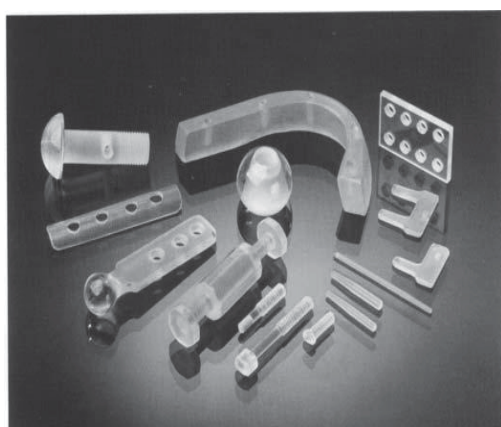
Властивості	Оксид алюмінію	Оксид цирконію
Хімічний склад	99,9% Al_2O_3 , MgO-дом.	97% ZrO_2 , 3% Y_2O_3
Щільність	$\geq 3,97 \text{ г/см}^3$	$\geq 6,08 \text{ г/см}^3$
Пористість	0,1%	0,1%
Міцність на згин	500 МПа	500–1000 МПа
Міцність на стискання	4100 МПа	2000 МПа
Модуль Юнга	380 ГПа	210 ГПа
Твердість, HV	> 2000	> 1200

1.4.3. Біоінертна кераміка на основі сапфіру

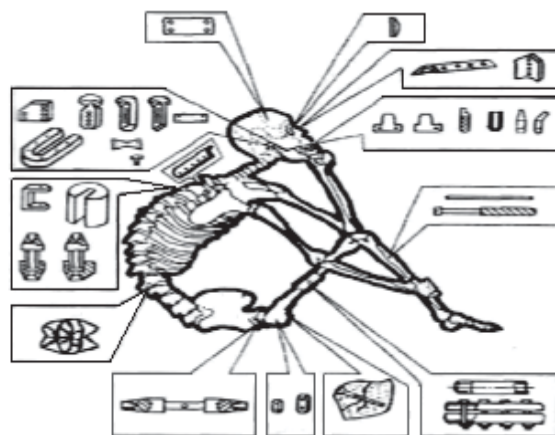
Біоінертна кераміка на основі сапфіру представляє собою монокристал оксиду алюмінію з високою якістю поверхні завдяки повній відсутності пор на матеріалі. Стійкість сапфірової кераміки до впливу кислот та лугів набагато вища, ніж титану та інших біоінертних матеріалів, навіть корундової кераміки (полікристалічного алюмінію). При введенні в живий організм даного виду кераміки відсутні будь-які реакції з боку імунної системи. В порівнянні з

біоінертними металами сапфір електрично-нейтральний, і не переходить у взаємодію з ендокринною системою людини, також він не призводить до деградації і демінералізації кістки. Кологенволокниста капсула, яка утворюється при вживленні імплантату, трансформується у нормальну кісткову і м'язову структуру [8]. Дуже часто саме цей фактор схиляє фахівців при імплантації застосовувати сапфірові керамічні матеріали.

Українськими фахівцями накопичений багатий досвід з вирощування сапфірів, що дозволило розширити номенклатуру імплантів та інших виробів медичного призначення (рис. 1.12). Термічна обробка даного матеріалу у воді дозволяє збільшити показники опору на згин в 1,5 рази. Незважаючи на всі переваги сапфірової кераміки, ще не подоланий її головний недолік: схильність до утворення тріщин.



а)



б)

Рис. 1.12. Сапфірові медичні імпланти: а – загальний вигляд; б – використання сапфірових імплантів у різних системах організму

1.4.4. Біоактивна кераміка

Пошук нових матеріалів для імплантації та заміни пошкоджених кісток ведеться дуже давно. Відновлювальна хірургія потребує матеріалів не тільки біосумісних з організмом, але й таких, які би утворювали безпосередні біохімічні зв'язки з тканинами, що оточують матеріал імпланту. Ідеальних матеріалів для імплантації не існує. Всі біосумісні матеріали мають свої недоліки: метали рано чи пізно піддаються корозійній деградації; пластмаси

руйнуються; навіть такі матеріали як корунд, тефлон, золото, платина, титан дуже відрізняються за механічними властивостями від кісткової тканини, що теж приводить до реакцій відторгнення [8].

Першим керамічним матеріалом, який був подібний за хімічним складом на будівельний матеріал кісток і зубів, був гідроксиапатит $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, він не тільки не викликав реакцію відторгнення, а ще здатний зв'язуватися зі здоровою кістковою тканиною. Такий матеріал отримують методом піролізу, його джерелом може слугувати донорська кістка від людини чи тварини.

Матеріал на основі гідроксиапатиту належить до резорбної кераміки, яка після імплантації поступово розчиняється мікрофагами і остеобластами організму. Також до цієї групи відносять ортофосфат кальцію ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). Дані матеріали знайшли широке застосування у відновлювальній хірургії і стоматології (рис. 1.13) [8, 15, 16].

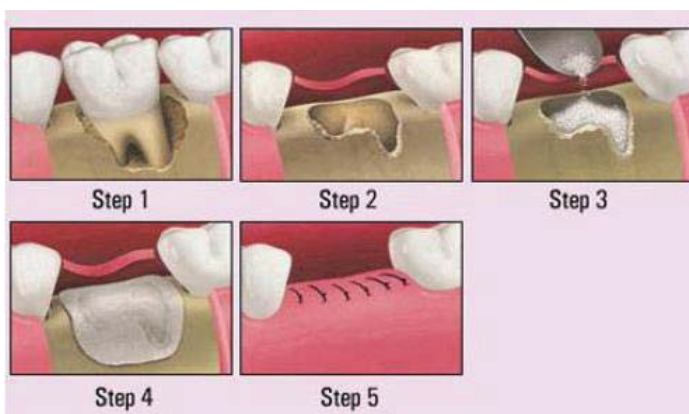


Рис. 1.13. Заповнення щелепного дефекту порошком гідроксиапатиту

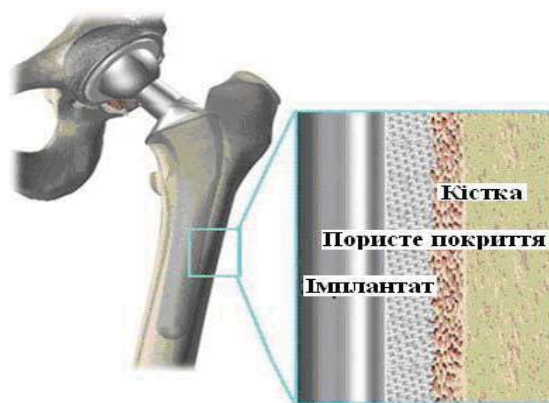


Рис. 1.14. Ілюстрація міжфазної границі імплантат-пористе покриття-кістка

Для відновлення кісткових дефектів вони можуть використовуватися, як самостійно, так і в складі композиційних матеріалів. Гідроксиапатит може бути нанесений методом плазмового напилення на імплант, виготовлений з металу, що забезпечує міцне зчеплення імпланту внаслідок зростання гідроксиапатитового покриття з кістковою тканиною (рис. 1.14).

1.5. Біосумісні полімерні матеріали

Полімери – це речовини з довгими молекулами, що складаються з однотипних груп атомів – мономерів, з'єднаних хімічними зв'язками через процес, що називається полімеризацією [16]. Структури людського організму в основному складаються із полімерів, тому багато з них біосумісні з живими організмами.

Полімери можна розділити на дві групи: полімери природного походження і штучно синтезовані. До полімерів природного походження відносять: білки, нуклеїнові кислоти, целюлоза, крохмаль, каучук, желатин, хітозан. Вони утворюються в організмах рослин або тварин завдяки реакціям фото- і біо- синтезу під впливом дії різних ферментів і ультрафіолетових променів [17].

До полімерів синтетичного походження належить велика група речовин, які отримані внаслідок реакцій полімеризації, поліконденсації та хімічної реакції перетворення одних полімерів на інші. Величезна кількість полімерів, вуглехімічного і мінерального походження отримані внаслідок вище перерахованих реакцій. Такі матеріали як поліпропілен, полістирол, полівінілацетат, капрон, нейлон, полівінілхлорид є прикладом матеріалів, які отримані даним способом [18-21].

Біополімери, як і інші матеріали, класифікують за дією на організм: на інертні, біоактивні (біодеградовані). Біоінертні полімери практично не змінюють своїх властивостей в організмі людини. До них відносять поліетилен, поліпропілен, фторопласт, силікони, полі метилметакрилат. Їх використовують для створення штучних судин, клапанів серця, ендопротезів суглобів [7, 21, 22].

Біоактивні (біодеградовані) полімери мають властивість розчинятися організмом, утворюючи нешкідливі речовини, які виводяться з нього природним шляхом. Ці матеріали сприяють відновленню тканин, їх фіксації при операційних втручаннях, знаходячись в організмі доки не регенеруються пошкоджені тканини, поступово розчиняючись до амінокислот і вуглекислоти. До таких полімерів відносять акриламід, поліамід, полігліколід тощо. Їх використовують у вигляді сіток, плівок, листових матеріалів [20]. Іншу групу

полімерів становлять полімери природного походження.

Широке застосування в медичній практиці знайшли полімери альгінату, колагену, желатину, хітозану, їх застосовують у вигляді покривних плівок для покриття раньової поверхні, шовного матеріалу в хірургії, в якості матрикса для вирощування клітин різного походження [18].

Характеристика розповсюджених синтетичних біополімерів

Поліетилен, хімічна структура $[-CH_2-CH_2]_n$, випускають у трьох модифікаціях: низької щільності, високої щільності та ультрависокої молекулярної маси. Поліетилен є гідрофобним і біоінертним матеріалом. Був відкритий в кінці 19 століття німецьким вченим Гансом фон Пехманом. Поліетилен низької щільності використовують для виготовлення імплантатів для очей, поліетилен високої та ультрависокої щільності використовується в ортопедії для виготовлення деталей ендопротезів суглобів, пластин для фіксації уламків кісток [23].

Поліамід (нейлон) – адипамід полігексаметилен (повна назва) – це полімер, який містить зв'язок – CONH-. Цей матеріал відкрив американський хімік компанії «Дюпон» Воллес Каротерс у 1937 році. Нейлони є частково кристалічними, амідний зв'язок може утворювати водневі зв'язки з молекулами води в аморфних областях, приводячи до значного водопоглинання. Це в свою чергу призводить до помітної зміни механічних властивостей матеріалу. На початку розвитку імплантаційних методів класичні поліаміди розглядали як матеріали, придатні для виготовлення волокон, плівок, сіток медичного призначення [20].

Поліметилметакрилат – біоінертний, твердий, жорсткий, склоподібний, проте крихкий полімер із температурою склування близько 100°C. Вперше цей матеріал отримав німецький хімік Отто Ром на початку XX століття. Утворюється цей матеріал в результаті радикальної полімеризації мономеру – метилового ефіру метакрилової кислоти. Поліметилметакрилат в техніці називають органічним склом. Це безбарвний прозорий полімер, за температури понад 110°C стає в'язкотекучим, легко переробляється на різні вироби формуванням і литтям під тиском, це один із найбільш термостійких полімерів:

він починає розкладатися лише за температури понад 330°C; має високу міцність. Його використовують для виготовлення внутрішньоочних і твердих контактних лінз, також у вигляді цементу для фіксації протезів імплантів.

Поліуретани – гетероланцюгові полімери, макромолекула яких містить незаміщену або заміщену уретанову групу – $N(R)-C(O)O-$, де $R = H$, алкіл, акрил- або ацилрадикали. Був відкритий Отто Байєром та його колегами в Німеччині в 1937 році. Спектр синтетичних варіантів такого матеріалу налічує багато фізичних властивостей: від твердих пластмас до гнучких плівок еластомерів. Він може працювати в діапазоні робочих температур від -60 до $+80^{\circ}C$. У 1959 році поліуретани були використані в якості біомедичного матеріалу для серцевих клапанів, показавши непогані результати [21].

Тефлон – політетрафлуоретен, технічна назва фторопласт, хімічна формула $(C_2F_4)_n$. За своєю хімічною стійкістю перевищує всі відомі синтетичні матеріали і благородні метали, залишається гнучким і еластичним при температурах від -250 до $+250^{\circ}C$, не змащується ані водою, ані жировими речовинами та більшістю органічними розчинниками, має невеликий поверхневий натяг. У медицині використовується як матеріал для виготовлення штучних судин та ендопротезів [7].

Основні сфери застосування біополімерів приведено у табл. 1.6.

Таблиця 1.6.

Сфери застосування біополімерів

Поліестер	Покриття ран, шовний матеріал, остеосинтез, заміна кісток
Колагени тварин	Покриття ран, шовний матеріал, остеосинтез
Поліуретан	Штучні кровоносні судини, зубні протези, штучні серцеві клапани
Полісилоксани (силікони)	Штучні кровоносні судини, зубні протези, штучні серцеві клапани
Дакрон і тефлон	Штучні кровоносні судини
Поліакрилати	Покриття ран, шовний матеріал, остеосинтез
Колагени тварин	Штучні суглоби, заміна сухожилок і зв'язок
Поліетилен	Штучні суглоби, заміна сухожилок і зв'язок
Поліуретан	Штучні кровоносні судини, зубні протези, штучні серцеві клапани
Полісилоксани (силікони)	Суглоби пальців, протези грудей, штучні кровоносні судини, штучні серцеві клапани

Дакрон і тефлон	Трансплантати судин
Поліметилметакрилат	Цемент для фіксування ендопротезу стегна у кістці
Поліакрилати	Пластичні матеріали, які широко використовують для внутрішньоочних і контактних лінз, цементування кісток, зубних та вушних протезів, хрящів та матриць.

Силікони, або поліорганосилоксани, група синтетичних кремнійорганічних полімерів, хімічна формула $(-R_2Si-O-SiR_2-)$, де R = органічна група). На їх основі розроблені: еластомери, гелі, мастильні речовини, піни та клеї. Полісилоксани є хімічно дуже стабільними, вони мають незначне вологопоглинання. Полісилоксани призначені для довгострокового використання, коли є потреба в біодовговічності і біосумісності. Майже всі полісилоксани ґрунтуються на поліметилсилоксані. Силікони знайшли широке застосування в пластичній хірургії, ортопедії, кардіохірургії [7].

До основних переваг синтетичних біополімерів належить розмаїття їх властивостей, легкість отримання різних форм та структур. Живі організми складаються з полімерів. Синтетичні полімери більш подібні до них, ніж інші біоматеріали, що дозволяє простіше досягати необхідних функцій, імплантів, ніж на металічних і керамічних матеріалах. Основною перевагою синтетичних полімерів в порівнянні з біополімерами виступає їх доступна ціна, вона в 5-10 разів нижча. До недоліків синтетичних біополімерів відносять недостатню міцність при конструюванні шарнірних систем у ендопротезах, також старіння і токсичний вплив на організм мікрочасток, що утворюються в процесі тертя і зношування ланок ендопротезів [23].

1.6. Технології отримання біосумісних матеріалів

1.6.1. Отримання високоякісної легованої сталі

Металічні біосумісні матеріали представлені групою сталей з вмістом легуючих елементів, які надають їм різноманітні хімічні і фізичні властивості. До медичних сталей висуваються особливі вимоги стосовно чистоти хімічного складу. Ці групи сталей відносяться до високоякісних сталей, тому найбільш придатними методами виробництва є виплавки в плазмово-індукційних,

вакуумно-індукційних, вакуумно-дугових, електронно-променевих печах. Основну масу високоякісної сталі отримують в електропечах. В них можна точно регулювати температуру, плавити сплави, як в нейтральній атмосфері, так і у вакуумі. За цих умов стає можливо отримати сталь з різноманітним складом і низьким вмістом домішок і неметалевих включень [24].

Основною складовою шихти для виплавки в електроплавильних агрегатах є сталевий брухт (75-100)%. Він повинен бути не дуже окисненим, без іржі, не містити домішок кольорових металів. Для електродів у дуговій печі використовують графітові стержні, виготовлені методом пресування графіту з подальшим спіканням. Плавку сталі в електродуговій печі проводять двома способами: повним окисленням металу з використанням шихти і легуючих елементів, або переплавленням легованих відходів з частковим окисленням розплаву. При плавленні сталі цим способом утворюється шлак у вигляді вапняку, вапна, бокситу, плавикового шпату, шамотного бою. В якості окисників при виплавці застосовують залізну руду, залізнорудні окатиші, газоподібний кисень, окалину [24].

Також для отримання потрібних якостей у сталь додають різні феросплави, які є сплавом заліза з різними хімічними елементами. Їх використовують для отримання сталей, чавунів та інших сплавів з різними фізико-хімічними властивостями. Феросплави включають у свій склад 25 хімічних елементів, їх називають легуючими. До них належать більшість легких (Mg, Ca, Sr, Ba, Al, B, Ti), частина рідкісних і розсіяних (V, W, Mo, Nb, Ta, Ce, Y, Sc) та важких (Co, Mn, Ni, Cr) металів, а також неметалів (Si, P, Se, N).

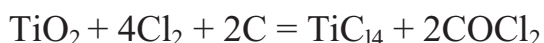
Другий спосіб отримання високоякісних сталей є позапічне рафінування, розкислення та легування сталі. При високих вимогах до якості сталі традиційні способи виплавки не можуть задовольнити заявлену якість. Для отримання якісної сталі розроблено кілька способів позапічної обробки розкислення, рафінування та легування сталі, які проводяться у ковшах, ковшах-печах та спеціальних агрегатах. Розріджену сталь в умовах вакууму продувають активними, або інертними газами та порошковими реагентами, також може бути використаний магніто-динамічний, ультразвуковий вплив на розплав для

насичення потрібними легуючими елементами, або вилучення непотрібних хімічних елементів. Наприклад, при вакуумній обробці розплаву сталі видаляється водень і азот. При продуванні розплаву інертними газами, сталь звільняється від неметалевих включень та вмісту інших газів таких, як азот. При обробці сталі порошковими спеціально приготованими реагентами зменшується відсотковий вміст сірки і фосфору, що в більшості випадків є шкідливими елементами для сталі. Носіями цих порошкових реагентів можуть бути повітря, природний газ, або інертний газ аргон.

1.6.2. Виробництво титану та його сплавів

Першим, хто зміг отримати титан у чистому вигляді, був американський хімік М. Хантер у 1910 році. Мала густина ($\rho = 4500 \text{ кг/м}^3$), висока корозійна стійкість, властивість утворювати стійкі сполуки з киснем, вуглецем, азотом роблять його одним із найпопулярніших металів у медицині і техніці. Титан – цінний легуючий елемент для сталі, він надає їй твердості і пластичності, також входить до складу багатьох алюмінієвих сплавів, бронзи, латуні [25].

У природі титан зустрічається у вигляді мінералів ільменіту (FeTiO_3) та рутилу (TiO_2). Рутил – це хімічно стійка природна сполука титану, яка може містити 10 відсотків домішок різних металів. Ільмін у природі містить суміші магнетиту (Fe_3O_4) та магнетину (Fe_2O_3), з вмістом титану в них до 20 відсотків. Найрозповсюдженіша технологія виробництва титану – з рутилу [25]. На першому етапі одержують титанову губку, відновлюючи її із діоксиду TiO_2 кальцієм, або його гідридом за температури біля 1000°C . Тетрахлорид титану, одержують шляхом хлорування брикетів подрібненого шлаку, або рутилового концентрату з вугіллям за температурами $600\text{-}800^\circ\text{C}$.



Парогазова суміш виходить через отвір, а частина непрореагованого залишку збирається у нижній частині печі й періодично випускається через трубу. Після охолодження парогазової суміші в конденсаторних установках

отримують рідкий чотиреххлористий титан разом з хлоридами інших металів, від яких відокремлюють тверді частинки відстоюванням і фільтруванням. Потім ректифікують конденсат за рахунок різниці температур кипіння різних речовин.

Для одержання виливків з титану губку плавлять у вакуумно-дугових агрегатах. З метою виключення забруднення титану домішками плавку титанової губки здійснюють у мідному водоохолоджувальному тиглі. Після завершення плавки рідкий титан зливають у виливниці. Метал, який одержують електродуговим переплавом губки, містить 99,6-99,7% титану [25].

Титанові сплави характеризуються широким арсеналом властивостей: підвищеною стійкістю до корозії, жаростійкістю та пластичністю. Для отримання сплавів на основі титану в нього включають легуючі елементи, які по-різному впливають на поліморфну структуру титанових сплавів (Sn, Zr, Hf), вони мають незначний вплив на процеси поліморфного перетворення в титанових сплавах. Найбільше практичне значення в титанових сплавах мають: алюміній – він зменшує густину і підвищує модуль пружності і жароміцність, цирконій – збільшує пластичність та тривалу міцність. Введення α -стабілізаторів є титанові сплави, таких як Al, O₂, N₂, підвищує температуру поліморфного перетворення та розширює область твердих розчинів у сплавах. Введення β -стабілізаторів V, Mo, Mn, Cr, підвищує міцність, жаростійкість і термічну стабільність титанових сплавів, знижуючи їх пластичність.

1.6.3. Виробництво біокераміки та біокерамічних виробів

Особливістю високотехнологічних керамічних матеріалів є складність їх будови, вони складаються з тугоплавких речовин частіше за все карбідів, боридів, нітридів та інших сполук, частинки яких сплавлені між собою. Нині існують цілі галузі промисловості, що спеціалізуються на виготовленні високотехнологічних керамічних виробів широкого призначення [26].

Біосумісна кераміка відноситься до класу високотехнологічної кераміки, незалежно від того, з яких компонентів вона складається, її виробництво включає такі основні етапи [17, 27]:

1. *Отримання тонкодисперсних порошків для кераміки.* Порошки для високотехнологічної кераміки можуть бути отримані багатьма методами. Все залежить від типу хімічної структури кераміки та необхідної якості. В технологічному процесі отримання високоякісної кераміки велику роль відіграють розміри частинок порошків, які спікаються. Від цього залежить щільність кераміки і температура спікання [17, 26].

Для отримання тонкодисперсних порошків, в тому числі і нанопорошків неорганічних матеріалів, широкого застосування набув золь-гель метод. Сутність його полягає у введенні в водні розчини неорганічних солей гідрооксидів, кольорових металів, водорозчинних органічних з'єднань, які сприяють утворенню гелів з подальшою термічною обробкою до утворення оксидів металів [26].

Другий метод отримання тонкодисперсних порошків належить до механічних методів дроблення матеріалу. Подрібнення матеріалу здійснюється у кульових млинах, де в якості інструменту використовують металічні кульки, які в процесі помелу зношуються. В кінці технологічного циклу подрібнений матеріал очищують від сторонніх домішок за допомогою електромагнітів. В залежності від вимог до матеріалів отримані порошки можуть спікатися, потім знову подрібнюватися для отримання рівномірної структури і хімічного складу порошків [27].

Ударнохвильовий метод отримання тонкодисперсних порошків, базується на впливі високого тиску і температури на матеріал. Внаслідок такого впливу можна руйнувати або консолідувати його структуру.

Хімічний спосіб отримання керамічних порошків включає в себе отримання оксидів металів методом окислення чистих металів киснем, або обробкою їх гідрооксидів кислотами.

Існують ще інші методи отримання порошків, всі вони мають свої як недоліки, так і переваги. Наприклад, механічними методами важко отримати тонко дисперсний порошок однорідної структури і хімічного складу, хімічний метод потребує дорогих реагентів тощо [26].

2. *Формування порошків.* Технологічний процес пресування полягає у

зменшенні початкового об'єму підготовленого порошку за рахунок стискання. Сам об'єм тіла матеріалу при цьому лишається незмінним, змінюються тільки геометричні розміри за рахунок зменшення відстані між частинками [26]. Існує кілька основних способів пресування керамічної маси.

Ізостатичне пресування полягає у пресуванні порошку в еластичних оболонках, які піддаються всебічному стисканню. Недоліками цього способу є неможливість отримання точних геометричних розмірів, необхідна додаткова обробка механічним шляхом.

Мундштучне формування полягає в пресуванні порошку через отвір мундштука, переріз якого задає форму майбутнього виробу. Таким способом отримують трубки, прутки різного перерізу, кутники.

Шлікерне формування базується на заповненні рідко рухомої маси тонкодисперсного порошку під невеликим тиском у форми. Шлікер є сумішшю порошку і зв'язуючого матеріалу. Це можуть бути термопластичні пластифікатори, для яких використовують термореактивні органічні смоли, які потім видаляються з розчину. Цим методом отримують вироби складної форми.

Вібраційне формування використовує вібрацію для формування виробів, це дозволяє рівномірно розподілити густину порошків і зменшити тиск при формуванні.

3. *Гаряче пресування* поєднує в собі одночасно два технологічних процеси: пресування і спікання порошків. Тиск при такому методі пресування зменшується в кілька десятків разів в порівнянні зі звичайним. Це зумовлено зменшенням опору матеріалу при збільшенні температури. Методом гарячого пресування можна отримати кераміку високої щільності.

4. *Спікання порошків*. Спікання – одна з найважливіших технологічних операцій при виробництві кераміки. При спіканні ущільнюються структура пористих порошків під дією високої температури, при цьому змінюється фізичні і хімічні властивості матеріалу. Процес спікання можна поділити на три стадії. На першій стадії спікання виникає рідка фаза, під впливом сил поверхневого натягу відбувається зближення частинок твердої фази. На другій стадії відбувається розчинення твердої фази в місцях контакту

частинок матеріалу. Подальше зближення твердих частинок відбувається за рахунок поверхневого натягу і починається кристалізація. Третя фаза завершується кристалізацією і утворенням скелету кераміки.

РОЗДІЛ II.

МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИВЧЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ МЕДИЧНОЇ ГАЛУЗІ НА ФАКУЛЬТАТИВНИХ ЗАНЯТТЯХ З ТЕХНОЛОГІЙ

2.1. Тематичне планування факультативу «Біосумісні матеріали»

У сучасній медицині для відновлення втрачених функцій органів людини використовується понад 40 біосумісних матеріалів. У світі спостерігається збільшення попиту на біосумісні матеріали та інженерів, які розробляють разом з медиками нові матеріали та конструкції для відновлення і регенерації втрачених функцій організму. Біосумісне матеріалознавство – одна з перспективних галузей, яка має тенденцію до стрімкого розвитку. Нині неможливо уявити жодну галузь медицини без використання біосумісних матеріалів. Тому, важливо впроваджувати вивчення питань медичного матеріалознавства на заняттях з технологій, факультативних заняттях та науково-технічних гуртках [28, 29].

У табл. 2.1 представлено тематичне планування вивчення біосумісних матеріалів на факультативних заняттях з технологій.

Таблиця 2.1.

Тематичне планування факультативу «Біосумісні матеріали»

Дата	К-сть годин	Зміст навчального матеріалу	Вимоги до загальної підготовки учнів
Біосумісні металічні матеріали			
	2	Біоматеріалознавство: важливість та актуальність розвитку галузі для медицини.	Називає основні біосумісні метали і сплави, їх хімічні і фізичні властивості, технологічні етапи виробництва.
	2	Історія розвитку біоматеріалів.	
	2	Біосумісні метали та сплави, галузі застосування	Визначає хімічний склад сплавів відповідно до їх маркування.
	2	Металургія легованих хімічно чистих медичних сталей.	Вміє користуватися довідковою та додатковою літературою.
	2	Хімічно інертні метали. Фізико-хімічні властивості,	Обґрунтовує практичне застосування біосумісних конструкційних металів і

		сфери застосування у виробках медичного призначення.	сплавів. Порівнює переваги і недоліки металевих біосумісних матеріалів
	2	Титан. Біосумісні сплави на основі титану. Фізико-хімічні властивості.	
	2	Металургія титану. Технології отримання титанових сплавів.	
	2	Тантал. Сфери застосування в медичних виробках.	
Біосумісні керамічні матеріали			
	2	Загальна характеристика біосумісних керамічних матеріалів. Хімічний склад, фізико-механічні властивості. Галузь застосування.	Називає основні види, біоінертної і біоактивної кераміки їх хімічний склад, фізичні властивості, та технологічні етапи виробництва кераміки. Визначає хімічний склад біосумісних керамічних матеріалів відповідно до медичної галузі і мети застосування. Вміє користуватися довідковою та додатковою літературою. Обґрунтовує практичне застосування біосумісної кераміки в медицині. Порівнює переваги і недоліки, та обмеження біосумісних керамічних матеріалів
	2	Біоінертна кераміка на основі оксиду алюмінію.	
	2	Біоінертна сапфірова кераміка.	
	2	Кераміка на основі діоксиду цирконію.	
	2	Біоактивна кераміка на основі гідроксиапатиту і ортофосфату кальцію.	
	2	Виробництво високотехнологічної біокераміки.	
Біосумісні полімерні матеріали			
	2	Синтетичні біополімери. Основні фізико-хімічні характеристики сфери медичного застосування.	Називає основні синтетичні, і природні біополімерні матеріали, хімічні і фізичні властивості, основні технологічні етапи виробництва Визначає хімічний склад полімерів відповідно до їх технічних і тривіальних назв. Вміє користуватися довідковою та додатковою літературою. Обґрунтовує практичне застосування біосумісних конструкційних полімерів природного і синтетичного Порівнює властивості і походження біополімерних матеріалів
	2	Поліетилен, високого, середнього і низького тиску. Технологія виробництва.	
	2	Полісилоксани (силікони). Технологія виробництва.	
	2	Біополімери природного походження. Колагени тварин. Шовк.	

2.2. Розробка розширених конспектів уроків

Тема 1: Біосумісні метали і сплави та галузі їх застосування.

Мета: Ознайомити учнів з поняттям біосумісності металів і сплавів з живими організмами, галузями, в яких застосовуються ці матеріали, основними властивостями металевих біосумісних металів і сплавів. Навчити працювати з різними джерелами інформації. Розвинути логічне мислення.

Обладнання і наочні посібники: Мультимедійна дошка, програмне забезпечення з виходом в Інтернет, зразки металів, дидактичні картки.

Тип уроку: комбінований.

Хід уроку

I. Організаційний момент

II. Актуалізація опорних знань (фронтальна бесіда)

З курсу фізики, хімії, трудового навчання, історії ви маєте різнопланові знання стосовно металів. Давайте пригадаємо деякі з них.

1. Які метали не вступають в хімічні реакції з лугами та кислотами?
2. Виберіть два метали, яких найбільше у земній корі.
4. Які метали належать до кольорових?
5. Який метал відносять до чорних?



Рис. 2.1. Чорні та кольорові метали

III. Мотивація навчальної діяльності

Людина протягом всієї історії її розвитку постійно намагається

покращити якість свого життя, в тому числі знайти способи поновити втрачені функції органів, які постраждали внаслідок отриманих травм і хвороб. Древні лікарі намагалися це зробити тими матеріалами і засобами, які були їм доступні, маючи дуже поверхові медичні знання і велике бажання допомогти своїм пацієнтам. Частині з них вдалося досягти суттєвих результатів. Першоджерела медичних трактатів древньої римської медицини свідчать, що хірурги тих часів використовували золоті, срібні і свинцеві дроти для зшивання ран. Археологічні знахідки свідчать, що до нашої ери вже виготовляли мостовидні протези втрачених зубів, в якості матеріалів використовували слонову кістку, або зуби тварин, скріплюючи їх золотими пластинками і дротами (рис. 2.2). Такі спроби древніх лікарів дали поштовх розвитку сучасної галузі біомедичного матеріалознавства. Ця наукова галузь займається розробкою різноманітних матеріалів, які контактують з тканинами та біологічними рідинами живих організмів, що покликані замінити втрачені функції частин організму, або сприяти їх регенерації.



а



б

Рис. 2.2. Мостовидні зубні протези: а – Етрусків; б – Древнього Єгипту

IV. Повідомлення теми, мети і завдань уроку

Сьогодні ми з вами ознайомимося з поняттям біосумісності, біосумісними металами та сплавами на їх основі, з їх хімічними та фізичними властивостями.

V. Повідомлення теоретичних відомостей

Незважаючи на те, що перші спроби замінити або допомогти відновити втрачені функції організму за допомогою металічних виробів були ще до нашої ери, перші наукові дослідження реакції живого організму на різні метали описав

Х.С. Левертом у 1829 р. Свої досліді він проводив на собаках, вводячи в їх організм золото, срібло, свинець і платину. Було виявлено, що платина переноситься найкраще. У 1886 році вперше використали сталні нікельовані пластини і гвинти для фіксації зламаної кістки. А. Зілорд у 1924 році опублікував результати дослідів реакції різних металів на тканини собак. В результаті було констатовано, що сталі швидко зазнають корозії, що призводить до відмирання кісткової тканини, такі метали як мідь, магній, алюміній, нікель, цинк, знебарвлюють контактуючі тканини. Золото та срібло допускалися, але вони за фізичними властивостями не можуть задовольнити всі вимоги при ендопротезуванні. М. Ларг перший, хто в своїх роботах відмітив біоінертність нержавіючої сталі, що містила молібден. Подальший період впровадження біосумісних матеріалів співпав з роками Другої світової війни. Як свідчить історія медицини, тоді настала епоха «героїв-хірургів», які при виконанні операцій імпровізували, незважаючи на великі ризики при використанні нових матеріалів і конструкцій, деяким з них вдалося досягти вагомих результатів.

Основними вимогами, які ставляться до матеріалів, що використовуються у медичних цілях, крім ліків, є біосумісність. Під цим поняттям розуміють здатність матеріалу виконувати функції в організмі без завдання шкоди сусіднім тканинам і в цілому всьому організму. Основним фактором, які сприяють біосумісності імплантів, перш за все є хімічний склад імпланту, його конструкція та стан організму пацієнта. Чисті метали, як правило, не можуть задовольнити всі вимоги при виготовленні виробів медичного призначення, для цього використовуються їх сплави.

Найбільшого поширення серед біосумісних матеріалів набули нержавіючі сталі, титан і сплави на його основі. Метали, які потрапляють у живий організм піддаються корозійному руйнуванню. При цьому процесі властивості металів різко погіршуються, також в організм потрапляють шкідливі хімічні речовини. Щоб нейтралізувати оксидні процеси у сталі під час її виробництва додають різні легуючі елементи, які надають їй корозійну стійкість та інші корисні властивості. Сталі, які застосовуються в хірургії, як правило, містять 20%

хрому, 14% нікелю і 4% молібдену. Таке співвідношення легуючих елементів забезпечує хімічну інертність. Для маркування сталей використовуються цифри і букви, на початку маркування ставиться цифра, яка означає кількість вуглецю в відсотках, якщо цифра відсутня то вміст вуглецю 1 відсоток. Якщо буква А стоїть в кінці марки сталі, то це означає що ця сталь високоякісна. Наприклад, Н – нікель, Х – хром, К – кобальт, М – молібден, Г – марганець, Д – мідь, Р – бор, Б – ніобій, С – кремній, В – вольфрам, Т – титан, Ф – ванадій, П – фосфор, А – азот. Кожен з цих легуючих елементів надає сталі різних хімічних і фізичних властивостей [30].

Марганець підвищує твердість і міцність сталі. Хром при достатній кількості надає сталі неіржавіючих властивостей. Нікель підвищує міцність і корозійну стійкість та пружність. Кремній підвищує пружність. Молібден підвищує твердість зменшує крихкість сталі. Ванадій підвищує твердість, сприяє розкисленню сталі. Титан сприяє однорідності та жароміцності сталі. Вольфрам сприяє жароміцності сталі.

Другим за використанням в медицині є титан та сплави на його основі. У цьому конструкційному матеріалі приваблює його хімічна інертність до середовища організму, високі механічні властивості та відносна невисока ціна. За показниками міцності титанові сплави в порівнянні з неіржавіючою сталлю випереджують приблизно на 40 відсотків. Також титанові сплави можуть витримувати різні засоби стерилізації без утворення корозії на його поверхні. До складу титанових сплавів, які застосовуються в медичних цілях, залежно від задач можуть входити алюміній, ванадій, молібден, ніобій, хром. Титанові сплави можуть оброблятися литтям, штампуванням, гнуттям. В якості легуючих добавок в них частіше за все використовуються Та, Al, V, Мо, Mg, Cr, Si, Sn. Найбільш ефективними стабілізаторами для титану є метали платинової групи Zr, Au. При введенні в склад титанового сплаву до 12% Zr його корозійна стійкість збільшується на порядок. Досягти найбільшого ефекту вдається при додаванні невеликої кількості Pt і платиноїдів Pd, Rh, Ru в кількості 0,25% від загальної маси.

Сучасна біоінженерія при конструюванні ортопедичних конструкцій

надає увагу сплавам титану і нікелю (нікеліду титану). Популярність застосування такого сплаву зумовлена здатністю тримати при низьких температурах надану форму і під дією високих повертатися до початкової форми. Ці властивості незамінні при виготовленні конструкцій для лікування травм хребта та інших захворювань опорно-рухового апарату.

Тантал – ще один біосумісний метал з унікальними фізичними і хімічними властивостями. Він добре обробляється будь-яким із способів: штамповка, прокатка, ковка, протяжка, скручування, різання. Він відрізняється виключною високою хімічною стійкістю, за багатьма показниками він випереджує платину і золото. Тантал відносять до групи рідкоземельних металів, цим зумовлена його висока ціна, але вона нижча, ніж для металів платинової групи. Пластини танталу використовують для виправлення пошкоджень і дефектів, також танталовою сіткою компенсують втрачені м'язові тканини.



Рис. 2.3. Вироби медичного призначення, виготовлені з неіржавіючої сталі, титану, танталу: *а, б* – ендопротези кульшових суглобів та хірургічні інструменти, виготовлені з медичної неіржавіючої сталі; *в* – сітка для пластики м'язової тканини з танталу; *г* – пластина та гвинти з титанового сплаву для фіксації зламаних кісток; *д* – цільнолиті коронки з титану та коронка, покрита нітридом титану; *е* – набір імплантів щелепо-лицевої хірургії з нікеліду титану

VII. Практична робота

1. Виберіть правильні твердження

А) Медичні біосумісні сталі у своєму складі містять невелику кількість вуглецю, разом з тим вони включають хром, нікель та інші легуючі метали.

Б) Медичні біосумісні сталі в своєму складі містять 0,8 % вуглецю, 6% хрому, 0,2% марганцю.

В) Медичні біосумісні сталі не містять вуглецю, разом з тим вони містять легуючі елементи.

2. Метали з гарною біосумісністю:

А) Були знайдені інтуїтивно.

Б) Були науково обґрунтовані в результаті дослідів на тваринах.

3. Оберіть правильні твердження

Біосумісні метали повинні відповідати наступним вимогам:

А) Бути хімічно активними по відношенню до тканин організму.

Б) Не створювати шкідливих хімічних сполук з тканинами організму.

В) Не піддаватися хімічному і механічному руйнуванню.

4. Оберіть одну правильну відповідь

Хімічно чисті біосумісні метали дуже рідко використовують в ортопедичних конструкціях трансплантатів:

А) Тому що їх важко виробляти.

Б) Тому що сплави мають кращі хімічні, механічні властивості, ніж чисті метали.

В) Тому що сплави дешевше виробляти.

5. Розставте метали в порядку зростання за результатами дослідження на біосумісність А. Зілорда

А) Залізо; Б) Мідь; В) Золото; Г) Срібло.

6. Знайдіть відповідність між біосумісними матеріалами і такими поняттями:

А) Неіржавіюча сталь; Б) Титан; В) Нікелід титану (нітінол).

1) Доступність мала ціна; 2) Міцність і легкість; 3) Пружність і міцність.

7. Продовжіть логічний ланцюг

Використання легуючих елементів у достатній кількості надають сталі різних властивостей: Кремній-Пружність

А) Молібден	1. Жаростійкість
Б) Нікель	2. Твердість
В) Вольфрам	3. Однорідність
Г) Титан	4. Корозійна стійкість

8. Виберіть правильне визначення

Сплави заліза з вуглецем (до 0,03) і іншими легуючими елементами, які надають йому корозійної стійкості, біоінертності, пружності та міцності належать до ...

А) Титанових сплавів; Б) Високоякісних сталей; В) Корозійно стійких медичних сталей; Г) Стоматологічних матеріалів; Д) Хімічно стійких сталей.

9. Які з наведених реакцій організму вказують на відторгнення імплантованого металу в організмі?

А) Утворення капсули зі з'єднувальної тканини навколо імпланту;
Б) Депігментація тканин навколо імпланту;
В) Відмирання тканин навколо імпланту.

10. Заповніть таблицю

Біосумісний матеріал	Медична галузь застосування, номенклатура виробів
Неіржавіюча медична сталь	
Сплави титану	
Тантал	

11. Розшифруйте хімічний склад сталі 40X13

12. Які з металів можуть нейтралізувати оксидні процеси в сталі, якщо їх використовувати в якості легуючих елементів при її виробництві?

VIII. Домашнє завдання.

Опрацювати літературу за посиланням

<https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/88347/3/Berladir.pdf>

Тема 2: Біосумісні керамічні матеріали. Застосування біокерамічних матеріалів. Технологія отримання біосумісних керамічних матеріалів.

Мета: Ознайомити учнів з основними біосумісними керамічними матеріалами, методами їх виробництва, галузями застосування. Продовжити формувати навички роботи з різними джерелами інформації. Розвивати логічне мислення, кругозір.

Обладнання. Мультимедійна дошка, програмне забезпечення з виходом в Інтернет, дидактичні картки.

Тип уроку: комбінований

Хід уроку

I. Організаційний момент

Перевірка присутності учнів та готовності до заняття.

II. Актуалізація опорних знань

Фронтальна бесіда.

1. Який матеріал людство найбільше використовувало протягом тисячоліть?
2. Вироби з якого матеріалу є артефактами Трипільської культури?
3. З яких матеріалів виготовляли керамічну масу?

III. Мотивація навчальної діяльності (фронтальна бесіда)

1. Чому керамічні матеріали такі важливі для сучасної техніки?

2. В яких галузях народного господарства кераміка є незамінним матеріалом?

3. Чи можемо ми обійтись без кераміки?

IV. Повідомлення теми, мети і завдань уроку

Сьогодні на уроці ми ознайомимося з керамічними біосумісними матеріалами, сферами їх застосування у виробках медичного призначення, технологіями виробництва керамічних матеріалів.

V. Повідомлення теоретичних відомостей

Кераміка – один з перших матеріалів, яке людство використовувало разом з кам'яними знаряддями праці. Кераміка, у всі історичні періоди була у числі найбільш вживаних матеріалів, завдяки великому розповсюдженню сировини і достатньо простої технології виробництва виробів з неї. Сучасні вироби із кераміки використовуються в різних галузях господарства, починаючи від посуду, будівництва, закінчуючи комп'ютерною технікою і медициною. Кераміка – це конструкційний матеріал який отримується в результаті спікання дрібнодисперсних порошків тугоплавких сполук, оксидів, нітридів, боридів, карбідів.

Кераміка, як біосумісний матеріал, знайшла своє місце у виробках медичного призначення. Це зумовлено широким спектром її властивостей, головним чинником яких є хімічна інертність до лугів і кислот. Кераміка має кращі показники біосумісності, ніж метали та полімери. Також в технологічному плані виготовлення керамічних виробів потребує менше енергетичних ресурсів. Разом з тим запаси сировини набагато доступніші в порівнянні з металургійним виробництвом.

Як показують статистичні дослідження, медицина з кожним роком потребує великої кількості доступних біосумісних матеріалів практично в кожній її галузі: це ендопротези суглобів, матеріал для протезів в стоматології і щелепно-лицевій хірургії, це інструменти для мікрохірургії, покриття з кераміки у стерилізаторах і системах штучного кровообігу. Біосумісна кераміка

відноситься до високотехнологічних видів кераміки, яка за своїми властивостями найбільш сумісна з живим організмом. За допомогою керамічних матеріалів можливо отримати зростання поверхні керамічного імплантату з живими тканинами, що неможливо досягти з металічними поверхнями.

Біосумісні керамічні матеріали класифікуються за хімічною активністю на біологічно нейтральні і біологічно активні. До біологічно нейтральних відносять керамічні матеріали на основі Al_2O_3 і ZrO_2 . Ці матеріали нетоксичні для живого організму, вони не утворюють хімічних зв'язків з біологічними тканинами, останні не проростають у пори тканини.

Другий тип відносять до біодеградуваної, або біоактивної кераміки, тобто такий тип кераміки сприяє регенерації кісткової тканини, а сам керамічний матеріал поступово розчиняється живим організмом і повністю виводиться. Прикладом такого біорезорбного матеріалу слугує кераміка на основі гідроксиапатиту $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ і ортофосфату кальцію $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.

Третій тип належить до біокераміки з середньою реактивною здатністю по відношенню до тканини, вона може утворювати зв'язки з білками, що стимулює в свою чергу синтез кісткової тканини. До цієї групи матеріалів належить біоскло на основі $(\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{SiO}_2)$.

Процес виробництва високотехнологічної кераміки розділяється на три основних технологічних цикли:

1. Отримання тонкодисперсного порошку. Від розмірів частинок і від хімічної чистоти залежить якість керамічних матеріалів високотехнологічної кераміки. Існують багато розроблених методів отримання керамічних порошків. Ми зупинимось на найбільш розповсюджених. Перший найбільш розповсюджений механічний помел. Щоб отримати високоякісні порошки з однорідним хімічним складом отриману масу спікають потім знову мелють. Недоліком такої технології є великі енергетичні витрати, важкість отримати рівномірного розміру частинок порошків. Другий метод хімічний синтез порошків, даним методом отримують порошки з рівномірною дрібною структурою. До третього відносять золь-гель метод осадження хімічних сполук,

який базується на хіміко-фізичних властивостях речовини. Цим методом отримують порошки з рівномірною однаковою структурою. Він є досить розповсюдженим методом хімічного виробництва. Четвертий метод отримання порошків базується на використанні енергії вибухової хвилі, коли на речовину діють різні змінні фактори температура і тиск. За допомогою ударної хвилі можна подрібнювати так і синтезувати потрібну речовину [31].

2. Формування керамічної маси відповідальний технологічний процес, від нього залежить щільність і якість керамічних виробів. Промисловістю розроблено ряд методів. 1. Стискаюче пресування дозволяє зменшити пористість матеріалу. 2. Пластичне формування засноване на проходженні керамічної маси з пластифікатором через мундштуки різної форми. Цим методом отримують прутки і труби різного перерізу. 3. Шлікерне лиття засноване на використанні рідкої суспензії порошків для формування виробів. Цей метод застосовується для виготовлення тонкостінних виробів складної форми. 4. Також широкого використання набув метод гарячого пресування, при якому пресування і спікання поєднанні в один технологічний процес [32].

3. Спікання керамічної маси є найбільш важливим технологічним процесом. Спікання може бути об'єднаний в один технологічний процес. Він включає в себе нагрівання і витримку виробу нижче точки плавлення основного компоненту кераміки. Перед спіканням пористість кераміки досягає 25-60%, після спікання пористість знижується до 10-15%, також зменшується і об'єм керамічного виробу.

VI. Практична робота. Самостійна робота учнів за картками

1. Виберіть зображення виробів з біосумісної кераміки



А.



Б.



В.



Г.



Д.

2. Доповніть правильно фразу

Кераміка це конструкційний матеріал який отримують у результаті спікання ... дрібнодисперсних порошків сполук оксидів, нітридів, боридів, карбідів.

А) аморфних; Б) легкоплавких; В) тугоплавких; Г) кристалічних.

3. Біосумісну кераміку, яка сприяє регенерації кісткової тканини, а сама з часом розчиняється в організмі називають ...

А) біорезорбною керамікою; Б) хімічно інертною керамікою;
В) сапфіровою керамікою; Г) пористою керамікою.

4. Розставте матеріали за ступенем біосумісності починаючи з найвищого показника

А) титанові медичні сплави; Б) неіржавіюча сталь; В) медична кераміка на основі оксиду алюмінію.

5. Знайдіть відповідність між назвою матеріалу і хімічною формулою

А) ортофосфат кальцію – ; Б) біоскло – ; В) оксид алюмінію – ;
Г) діоксид цирконію – ; Д) гідрооксиапатит – .

1. ZrO_2 ; 2. $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$; 3. $Ca_3(PO_4)_2$; 4. $(Na_2O-CaO-P_2O_5-SiO_2)$
5. Al_2O_3 .

6. Зайдіть відповідність між технологічним процесом і технологічним методом.

А) Виробництво дрібнодисперсних порошків;	1. Шлікерне лиття;
Б) Формування керамічної маси;	2. Нагрівання і витримка;
В) Спікання керамічної маси;	3. Золь-гель метод.

7. Після спікання керамічної маси її об'єм ...

А) залишиться не змінним; Б) зменшиться; В) збільшиться.

8. Який з наведених методів отримання керамічних порошків дозволяє отримати хімічно чисті порошки?

А) помел у кульових млинах; Б) подрібнення за допомогою

ударнохвильового методу; В) хімічний синтез.

9. Виберіть правильне твердження

Після спікання пористість кераміки:

А) лишається незмінною; Б) збільшується; В) зменшується; В) стає 10-20%.

10. Основними перевагами біосумісної кераміки є:

А) хімічна інертність; Б) корозійна деградація; В) амагнітність; Г) малий коефіцієнт розширення; Д) крихкість; Е) біорезорбність.

11. Заповніть таблицю

Кераміка хімічний склад	Біорезорбна, біологічно нейтральна
Гідроксиапатит	
Діоксид цирконію	
Оксид алюмінію	
Ортофосфат кальцію	

12. Перерахуйте три переваги біосумісних керамічних матеріалів і один головний недолік.

VII. Підведення підсумків уроку

Взаємооцінювання:

Ключ: 1) Б; Г; Д; 2) В; 3) А; 4) В; А; Б; 5) А – 2; Б – 4; В – 5; Г – 1; Д – 3; 6) А – 3; Б – 1; В – 2; 7) Б; 8) В; 9) В; 10) А; В; Г; Е; 11) Гідроксиапатит – біорезорбна; Діоксид цирконію – біологічно нейтральна; Оксид алюмінію – біологічно нейтральна; Ортофосфат кальцію – біорезорбна; 12) переваги: 1. Висока біосумісність в порівнянні з металами; 2. Доступність матеріалу; 3. Утворення хімічних зв'язків з живими тканинами, сприяння регенерації кісткової тканини; основний недолік кераміки – це крихкість.

VIII. Домашнє завдання

Опрацювати літературу за посиланням <https://udhtu.edu.ua/himichna-tehnologiya-keramiki-tk>

Тема 3: Нанотехнології та наноматеріали у медицині.

Мета: *а) навчальна:* ознайомити дітей із сучасними нанотехнологіями та наноматеріалами, які використовуються у медичній галузі; *б) розвиваюча:* розвивати вміння аналізувати технологічні особливості отримання наноматеріалів та розуміння їхнього практичного призначення у медицині; *виховна:* виховувати спостережливість, уважність, самостійність.

Обладнання і матеріали: мультимедійна презентація, зразки медичного обладнання.

Тип заняття: комбіноване.

Структура заняття

1. *Організаційна частина (1 хв)*
2. *Актуалізація опорних знань та мотивація навчальної діяльності (4 хв)*
3. *Повідомлення теми та мети заняття (1 хв)*
4. *Виклад нового матеріалу (18 хв)*
5. *Практична частина (15 хв)*
6. *Підсумок заняття (5 хв)*
7. *Домашнє завдання (1 хв)*

Хід заняття

1. Організаційна частина

Привітання. Контроль присутності учнів та готовності до уроку.

2. Актуалізація опорних знань та мотивація навчальної діяльності

1. Які ви знаєте медичні вироби?
2. Які матеріали використовують для виготовлення цих виробів?
3. Що ви знаєте про наноматеріали?
4. Наведіть приклади застосування наноматеріалів у медицині.

3. Повідомлення теми та мети заняття

Тема сьогоднішнього заняття «Нанотехнології та наноматеріали в медицині». На сьогоднішньому уроці ми ознайомимось із сучасними

нанотехнологіями та наноматеріалами, які використовуються у медичній галузі, навчимося аналізувати технологічні особливості отримання наноматеріалів та розуміти їхнє практичне призначення у медицині.

4. Виклад нового матеріалу

В останні десятиліття виник новий напрямок у науці та технологіях – нанобіотехнологія або біомолекулярна нанотехнологія. Ця область пізнання є біологічним використанням нанотехнологій, як сполучної ланки між живою і неживою природою. Вивчення структур та функцій природних наноконструкцій, які існують у живій клітині – необхідний етап для створення нанобіопристроїв [33].

Завдання нанобіотехнології – зрозуміти принципи функціонування біологічних одиниць для створення за допомогою спеціальних матеріалів та інтерфейсів малих компонентів живого. Нанобіотехнології сприяють тісній кооперації наук про живе з фізикою, хімією та інженерією.

Сам термін «нанотехнологія» запровадив 1986 р. американський дослідник Ерік Дрекслер. У своїх роботах він висунув проект молекулярного складання необхідних мікроструктур та мікрооб'єктів як технологічне завдання для майбутнього. Кім Ерік Дрекслер (1955 р.н.) – відомий американський вчений, «батько нанотехнологій», інженер, відомий популяризатор нанотехнологій. Автор концепції нанотехнологічного механосинтезу, перший теоретик створення молекулярних нанороботів, концепції сірого слизу [34].

Медичні застосування нанобіотехнології призвели до появи нової галузі наномедицини.

За визначенням Р. Фрейтаса: наномедицина – це виправлення, конструювання та контроль над біологічними системами людини на молекулярному рівні з використанням розроблених нанопристроїв та наноструктур. Запропонована ним система уявлень передбачає використання методів та техніки нанотехнології при лікуванні, омолодженні людини, включаючи перехід до біологічного безсмертя [35].

Річард Фейнман окреслив основні напрямки розвитку нанотехнологій. Це

і надщільний запис і зберігання будь-якої інформації, і розробка мініатюрних комп'ютерів, створення автономних інструментів, які зможуть виконувати хірургічні операції безпосередньо в організмі людини. Фейнман говорив: «...було б цікаво для хірургії якби ви могли проковтнути хірурга. Ви введете механічного хірурга в кровоносні судини, і він пройде до серця і «озирнеться» там...» [36].

Нанобіологія та наномедицина – нові міждисциплінарні науки, які вирішують такі завдання [35]:

- 1) адресна доставка ліків у клітини та тканини за допомогою наночастинок, створення нових ліків та нановакцин;
- 2) розробка високочутливих нанозондів та біомаркерів для діагностики захворювань та контролю за їх лікуванням (імплантовані сенсори);
- 3) створення високопродуктивних чипів для генетичного тестування, створення наночастинок для візуалізації клітин і тканин;
- 4) створення штучних тканин, біосумісних матеріалів, імплантів та біологічних мембран;
- 5) конструювання молекулярних об'єктів;
- 6) інтерфейс нейронів з ПК;
- 7) створення нанороботів для корекції клітинних та молекулярних дефектів в організмі.

Напрямки нанотехнологій у хірургії. Нано(біо)технології у медицині (хірургії) – наномедицина – розвиваються у таких напрямках:

- медичні нанороботи;
- замінники крові на основі наноматеріалів;
- наноматеріали для зупинки кровотеч;
- імплантати та протези на основі наноматеріалів;
- наноматеріали та наноструктури для доставки ростових факторів.

Важливою сферою застосування чистих наноструктурних матеріалів, зокрема Ti , є використання їх у медичних цілях – для виготовлення імплантатів, протезів та травматологічних апаратів. Причиною є поєднання високих механічних властивостей із високою біологічною сумісністю із тканинами

організму. Наноструктурні плівки вуглецю та композиційні наноплівки на основі вуглецю і Si, SiO_x, SiN_x мають хорошу біосумісність, хімічну, термічну та механічну стійкість і тому вони перспективні для використання у вузлах біосенсорів, протезів та імплантатів. Нанопорошки лікарських препаратів використовуються у медикаментах швидкого засвоєння та дії для екстремальних умов (поранення при катастрофах та бойових діях) [37].

Високу ефективність показали протипожежні пов'язки з використанням нанопорошку срібла, які дозволяють виключити перев'язки на всьому часі загоєння. Ця можливість суттєво скорочує час одужання та максимально зменшує больові відчуття. У даний час ведеться розробка зразка лабораторного антисептичного перев'язувального матеріалу на основі електропозитивних кристалічних нановолокон. Цей матеріал складається з волокнистої матриці, до якої приєднані агломерати з нановолокон оксиду гідроксиду алюмінію. Нановолокна формуються при гідролізі порошку алюмінію, отриманого електричним вибухом, мають величезну сорбуючу здатність і позитивний електричний заряд. Він витягає з рани і збирає в собі хвороботворні бактерії. В результаті мікроорганізми притягуються до волокон і вже не можуть залишити пов'язку. Для підсилення антисептичної дії було додано 0,003 мас.% срібла.

Використання нанопористих матеріалів є одним із перспективних напрямків застосування нанотехнології в біології та медицині.

Вуглецеві нанотрубки належать до сімейства фулеренових алотропних модифікацій вуглецю. Нанотрубки є цілісними циліндричними структурами, які утворені шарами графіту. Існують два різновиди нанотрубок – одношарові та багатошарові. Багатошарові нанотрубки зазвичай мають більший зовнішній діаметр (2,5-100 нм), ніж одношарові (0,6-2,4 нм). Нанотрубки поєднують у собі високу жорсткість і пружність зі здатністю до оборотного згинання та колабування [38].

Актуальним питанням є можливість використання нанотрубок як носіїв лікарських речовин. Відомо що нанотрубки взаємодіють із макромолекулами (ДНК, білки). Принципово існують три способи використання нанотрубок для доставки та вивільнення лікарських речовин. Перший спосіб полягає в

сорбуванні активних молекул препарату на межі нанотрубок або всередині пучка (рис. 2.4). Другий спосіб передбачає хімічне приєднання ліків до функціоналізованої зовнішньої стінки нанотрубок. Нарешті, третій спосіб вимагає розміщення молекул активної речовини всередину простору нанотрубок [39].

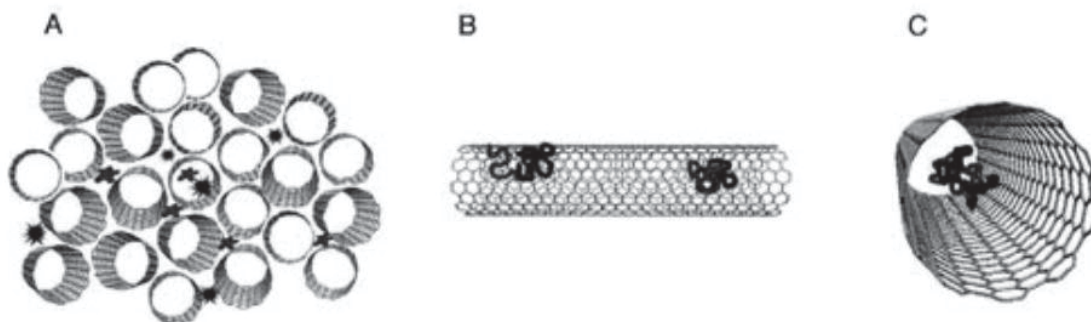


Рис. 2.4. Варіанти використання нанотрубок для транспортування та доставки лікарських речовин: А – сорбування речовини у масиві нанотрубок; В – хімічне приєднання речовини до функціоналізованої поверхні нанотрубки; С – поміщення речовини в простір нанотрубки

Медичні нанороботи. Роботи, розміром порівняні з молекулою (менше 10 нм), які мають функції руху, обробки та передачі інформації, виконання програм. Для створення нанороботів використовують дендримери, со-полімери, та нанопористі матеріали.

Нанороботи вводяться у потік крові і потім здійснюють пошук ураженої тканини та корекцію дефектів за рахунок маніпулювання на нанорівні. Також вони можуть доставляти лікарські препарати безпосередньо до хворих клітин, таким чином зменшуючи споживання людиною дози лікарств.



Рис. 2.5. Медичні нанороботи

Замінники крові. Полігемоглобін, пов'язаний з каталазою та супероксиддисмутазою створений на основі нанобіотехнологій. Кровозамінники на основі такого полігемоглобіну особливо ефективні при геморагічному шоці, що супроводжується масивною ішемією з наступною реперфузією. Респіроцит – штучний носій кисню та двоокису вуглецю, що значно перевершує за своїми можливостями еритроцити крові. При проведенні хірургічних операцій часто потрібна донорська кров та її компоненти. Для усунення дефіциту донорської крові та її компонентів розробляються штучні кровозамінники, зокрема із використанням нанотехнологій.

Наноклей. Новий клей заснований на вуглецевому ланцюжку. На його кінцях – кремній, кисень та сірка (рис. 2.6). Ці молекули діють як гачки, що з'єднують дві поверхні. За допомогою нової речовини медики не зашиватимуть, а склеюватимуть органи пацієнта.

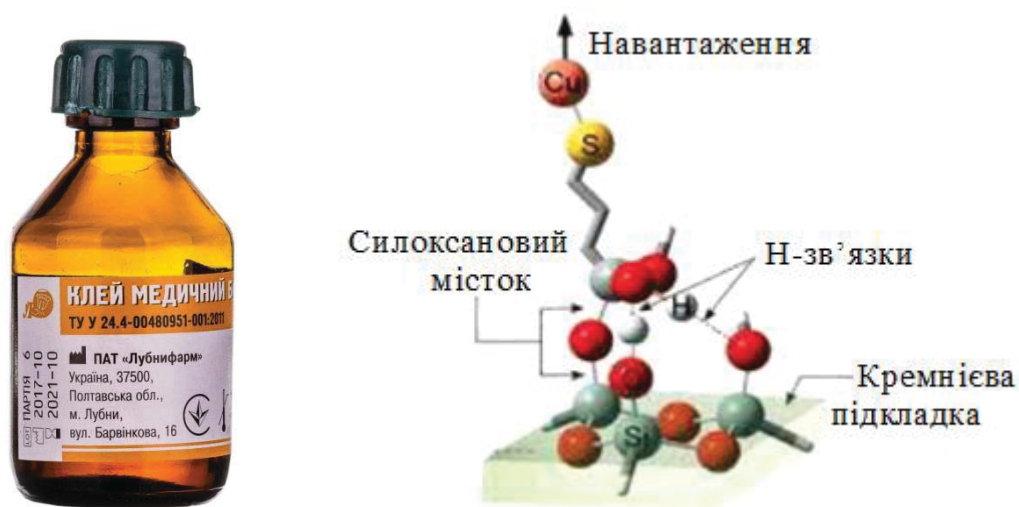


Рис. 2.6. Наноклей та його вуглецевий ланцюжок

Наноклей не тільки швидше і міцніше схоплює кістки, але і прискорює процес природного оновлення тканин. Хірургічні операції не залишатимуть шрамів та рубців на тілі пацієнтів. Частинок клею абсолютно безпечні та нетоксичні для організму.

Мікро- та наноматеріали для кісток. Сьогодні в медицині йде активний пошук пористих матеріалів для кісткових імплантатів, які мають бути біоактивними та міцними. Розмір пор у таких матеріалах суттєвий і повинен

становити близько 100 мкм, щоб кровоносні судини могли проростати в імплантат. Міцність найбільш придатних по цьому параметру пористих матеріалів, які ще називають «арковими або каркасними структурами» залишає бажати кращою. Для каркасних структур на основі колагену вона становить 0,034 МПа, а для пористих фосфатів кальцію – близько 5 МПа. Міцність пористої людської кістки варіюється від 10 МПа до 50 МПа. Англійські вчені зуміли створити макропористі структури з шовку і фосфату кальцію, які є біоактивними і мають хороші властивості міцності [39].

Наноматеріал на основі наноструктурного композитного матеріалу (вуглець, титан, морські корали) при кімнатній температурі є рідиною, яка швидко застигає при підвищенні температури до 37°C. Тверда субстанція за своїми фізичними властивостями дуже нагадує кістку. Наноматеріал складається з циклічних молекул, кожна з яких поєднується з двома іншими. Швидкість застигання може становити від кількох секунд до кількох хвилин. Матеріал легко інтегрується з кістковою тканиною та його можна використовувати для заповнення дефектів кісток. Може служити для закріплення металевих фрагментів до кісток. Виключає необхідність проведення складної операції та прискорює процес відновлення.

Наноплівки. Тонка плівка завтовшки 20 нанометрів, що піддається біологічному розкладу, здатна замінити хірургічні нитки. Ультратонке полілактатне волокно здатне запечатувати надрізи внутрішніх органів. При закритті надрізу цим волокном, він гоїться без шрамів або небезпечних утворень. Наноплівки досить міцні, для закриття рани. Антибактеріальні нанопокриття на основі нітриду бору, що мають ефективність проти мікробних патогенів – до 99,99% можуть стати безпечною альтернативою звичним антибіотикам в імплантології, оскільки не мають характерних негативних побічних ефектів [40].

Мікроконтейнери. Крім створення нових лікарських форм багато розробок здійснюється шляхом конструювання наносистем, здатних доставляти ліки безпосередньо до органів і клітин-мішеней. Поліпшений транспорт ліків в осередок розвитку патологічного процесу дозволяє досягти підвищення

ефективності вже існуючої лікарської терапії. Обсяг продажів США ліків із системою поліпшеної доставки нині становить 20% від загального обсягу ринку фармпрепаратів [19].

Біополімерні мікрокапсули можуть бути одержані методом пошарового осадження. Цей процес включає кілька стадій: синтез ядра-матриці, формування мультишарового покриття на ньому та розчинення ядра-матриці (рис. 2.7). Сьогодні розроблений спосіб синтезу сферичних мікрочастинок карбонату кальцію діаметром 4-5 мкм.

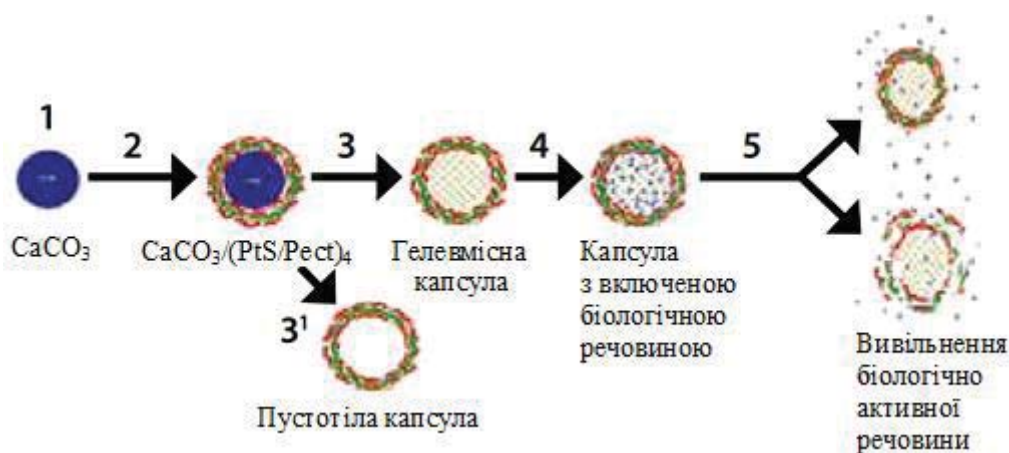


Рис. 2.7. Отримання біополімерних мікрокапсул методом пошарового осадження

Нанокapсули. Біоінженер Франк Алексіс з Університету Клемсона в США розробив нові, безпечніші способи доставки лікарських препаратів до організму. Удосконалений спосіб спрямованої доставки ліків та запобігання його виведенню з організму – інкапсулювання, тобто поміщення препарату всередину біосумісного протектора для цілеспрямованої доставки», – сказав Алексіс. Використовувані Алексісом капсули є наночастинками. Нанокapсула (також колоїдосома) – наночастинка, що складається з полімерної, ліпідної або іншої оболонки, яка оточує її внутрішню порожнину або вміст.

Сьогодні для доставки лікарських засобів широко використовуються гідрогелі на основі природних та синтетичних полімерів [41]. Перспективними є гідрогелеві хітозанові наночастинки. Хітозан – біосумісний, біодеградований полісахарид, який має бактеріостатичні властивості.

Нанотехнології, які застосовуються в даний час, нешкідливі, прикладом є

наночипи та сонцезахисна косметика на основі нанокристалів. А такі технології, як нанороботи та наносенсиори, поки що перебувають у процесі впровадження. Нанотехнології забезпечують прискорення розробки нових ліків, засобів діагностики, створюють високоефективні форми та способи доставки лікарських засобів до вогнища захворювання, дозволяють проводити нетравматичні операції.

5. Практична частина

Завдання 1. Поставити у відповідність матеріалів і його практичне застосування у медичній галузі

застосування у медицині матеріал	титан	мідь	алюміній	платина, паладій	тантал	кобальт- хром	нержа- віюча сталь	біо- кераміка
виготовлення хірургічного обладнання та імплантатів								
виробництво інвалідних колясок, штативів, милиць, каркасів ліжок								
виробництво медичних інструментів								
регенерація кісток, суглобів, зубів								
виробництво прецизійного хірургічного устаткування								
виробництво протезів та імплантатів								
запобігання передачі вірусів								
виробництво хірургічного обладнання, зубних імплантатів та ортопедичне протезування								

Завдання 2. Доповнити речення

1. Титановий сплавом Ti_6-Al_4-V найбільш доцільно використовувати для виготовлення
2. Наноструктурні плівки вуглецю та композиційні наноплівки на основі вуглецю і Si, SiO_x , SiN_x мають хорошу біосумісність, хімічну, термічну та механічну стійкість і тому вони перспективні для використання
3. Нанороботи використовують для
4. Медичний наноклей заснований на

6. Закріпленні вивченого матеріалу

1. Що нового ви дізналися на сьогоднішньому занятті?
2. Що таке нанотехнологія?
3. Які матеріали називають «наноматеріалами»?
4. Наведіть приклади застосування наноматеріалів у медицині.

7. Домашнє завдання

Підготувати реферати з теми «Наноматеріали в медицині».

2.3. Розробка тестових завдань

1. Матеріали які можуть виконувати різні функціональні призначення всередині організму досить тривалий час без акумуляції негативних змін в організмі називають?

- а) Біонейтральними;
- б) Біоінертними;
- в) Біосумісними;
- г) Біотолерантними.

2. Несумісні з живим організмом матеріали, які викликають негативні, або патологічні реакції з навколишніми тканинами та відповідну захисну реакцію з боку його імунної системи називають?

- а) Біоактивними;
- б) Біоінертними;
- в) Біотоксичними;
- г) Біотолерантними.

3. Матеріали, які можуть функціонувати в живому організмі завдяки тому, що їх негативний вплив нейтралізується за рахунок компенсаторних властивостей організму називають?

- а) Біонейтральними;
- б) Біоінертними;
- в) Біотолерантними;
- г) Атоксичними.

4. Біостабільні, біологічно неактивні матеріали які не взаємодіють із фізіологічним середовищем організму, співіснують без помітних змін і відокремлюються від нього шаром сполучних волокнистих тканин називають?

- а) Біоінертними;
- б) Біонейтральними;
- в) Біотолерантними;
- г) Біопасивними.

5. Матеріали, які здатні утворювати безпосередньо біохімічні зв'язки з навколишніми тканинами живого організму називають?

- а) Біотолерантними;
- б) Біоактивними;
- в) Біотолерантними;
- г) Хімічноактивними.

6. Які властивості металевих матеріалів роблять їх важливими у медицині?

- а) Провідність електричного струму;
- б) Можливість формування високих температур;

- в) Схильність до окислення;
- г) Гідрофобність.

7. Що таке біосумісність металевих матеріалів у медицині?

- а) Здатність взаємодіяти з біологічним середовищем;
- б) Відсутність властивостей металів;
- в) Властивість самозаживлення;
- г) Опір впливу фізичних факторів.

8. Які металеві матеріали часто використовують для виробництва медичних імплантатів?

- а) Тільки золото;
- б) Тільки алюміній;
- в) Тільки сталь;
- г) Титан та його сплави.

9. Яка роль металевих матеріалів у виготовленні хірургічних інструментів?

- а) Забезпечення електричної провідності;
- б) Забезпечення жорсткості та тривалої служби;
- в) Володіння антимікробними властивостями;
- г) Проведення тепла.

10. Яка з властивостей металів є важливою для їхнього використання у стоматології?

- а) Схильність до корозії;
- б) Антимікробні властивості;
- в) Здатність до відтворення форми;
- г) Забарвленість.

11. Які металеві матеріали можуть використовуватися для виготовлення каркасів зубних протезів?

- а) Тільки золото;
- б) Тільки алюміній;

- в) Золото, платина, титан та їхні сплави;
- г) Чистий алмаз.

12. Як вибір металевих матеріалів впливає на дизайн медичних інструментів?

- а) Впливає тільки на колір інструменту;
- б) Впливає на його ергономіку, масу та тривалу службу;
- в) Не впливає на ніщо;
- г) Впливає на ступінь його гнучкості.

13. Як металеві матеріали використовуються у сучасних медичних технологіях для терапії та діагностики?

- а) Використовуються тільки для виробництва інструментів;
- б) Як важливі компоненти для пристроїв імплантації;
- в) Як ізоляційні матеріали для захисту від електричних розрядів;
- г) Не використовуються в медичних технологіях.

14. Чому важливо враховувати біосумісність металевих матеріалів при їхньому використанні в медицині?

- а) Для забезпечення відмінного естетичного вигляду;
- б) Щоб зменшити масу медичних пристроїв;
- в) Для підвищення кондуктивності металевих імплантатів;
- г) Для запобігання відторгнення тканинами організму.

15. Яка роль металевих матеріалів у виготовленні медичних пристроїв для зображення (наприклад, рентгенівські апарати)?

- а) Забарвлюються у темні кольори для кращого зображення;
- б) Забезпечують антимікробний захист;
- в) Мають високу провідність для передачі сигналів;
- г) Їх використання заборонено у цих пристроях.

16. Біоматеріали на основі оксидів, карбідів, нітридів, боридів та інших хімічних сполук, які отримують шляхом високотемпературного спікання

порошків цих речовин під високим тиском?

- а) Біополімери;
- б) Біометали;
- в) Біокераміка;
- г) Біокомпозити.

17. Основа сфера застосування корундової кераміки?

- а) Виготовлення найбільш навантажених фрагментів ендопротезів суглобів;
- б) Виготовлення еластичних імплантів;
- в) Виготовлення біоінертних імплантів;
- г) Виготовлення протезів зубів.

18. Сапфірова кераміка вирізняється?

- а) Стійкістю до впливу кислот та лугів;
- б) Механічною міцністю;
- в) Термічною стійкістю;
- г) Вологостійкістю.

ВИСНОВОК

При написанні магістерської роботи:

1. Встановлено, що у світлі досягнень новітніх технологій та наукових досліджень, використання сучасних матеріалів у медичній галузі відіграє ключову роль у покращенні якості медичних послуг та підвищенні рівня догляду за пацієнтами. Завдяки постійному розвитку матеріалознавства, біомедичної інженерії та медичних технологій, сьогодні ми спостерігаємо значний прогрес у створенні новітніх матеріалів для використання у медицині.

2. З'ясовано, що однією з ключових переваг сучасних матеріалів для медичної галузі є їхня біотолерантність, біоінертність та біоактивність. Це означає, що ці матеріали не лише взаємодіють із біологічними системами без шкоди для здоров'я, але й розкладаються у природному середовищі після використання, що зменшує негативний вплив на довкілля. Крім того, сучасні матеріали для медичної галузі відрізняються високою міцністю, стійкістю до корозії та зношування, а також можливістю утворювати складні форми, що дозволяє використовувати їх у різноманітних медичних устаткуваннях, пристроях та імплантатах.

3. Розкрито особливості основних технологій отримання біосумісних матеріалів.

4. Розроблено методичне забезпечення вивчення матеріалів для медичної галузі на факультативних заняттях з технологій, зокрема тематичне планування факультативу «Біосумісні матеріали», розширені конспекти занять з практичними роботами у формі кросворду і тестових завдань та підсумкові тести для закріплення вивченого матеріалу, що має стимулювати пізнавальний інтерес, підвищувати ефективність засвоєння запланованих навчальних тем та отримати зворотній зв'язок від учнів для оцінювання рівня засвоєння знань і умінь.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Біоматеріали та біосумісність: навчальний посібник / уклад. О.Я. Беспалова. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 97 с.
2. Мельник О.С., Якименко Ю. Біомедичні матеріали: навчальний посібник. Київ: НТУУ «КПІ», 2000. 228 с.
3. Основи біоматеріалознавства: навч. посіб. / О.В. Саввова, Г.К. Воронов, О.І. Фесенко, О.І. Пилипенко. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. 202 с.
4. Метали і сплави, застосовувані в ортопедичній стоматології та хірургії. URL:
https://stud.com.ua/124433/meditsina/metali_splavi_zastosovuvani_ortopedichnoyi_s_tomatologiyi_hirurgiyi
5. Росохін В.В., Ільїнський А.І., Клещев Н.Ф. Біоматеріалознавство: навч. посібн. Харків: НТУ «ХПІ», 2011. 280 с.
6. Матеріалознавство та конструкційні матеріали. Практикум: навч. посіб. для студ. спеціальності 163 «Біомедична інженерія» / І.Ю. Худецький, К.В. Ляпіна, Ю.В. Антонова-Рафі. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 147 с.
7. Берладір Х. В., Говорун Т. П., Олешко О. М. Біомедичні матеріали: Від історії до Сьогодення: навчальний посібник. Суми: Сумський державний університет, 2022. 216 с.
8. Уварова І.В., Максименко В.Б. Біосумісні матеріали для медичних виробів: навчальний посібник ФБМІ НТУУ «КПІ». Київ: КІМ, 2013. 232 с.
9. Найденко В.Л. Технологія одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: навчальний посібник. Київ: Видавничий дім Київ, 2016. 113 с.
10. Вольф. О.О. Застосування титану в медицині. URL:
http://www.fhotm.kpi.ua/sworks/05/volf2_article_2010.pdf
11. Бесов А.В. Металеві сплави для ортопедичної стоматології. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2002. Т.3, № 4. С. 647-653.
12. Медичні матеріали та імплантати з пам'яттю форми: В 14 томах / Під ред. В.Е. Гюнтера. Харків: НТУ «ХПІ», 2009-2012.
13. Нікелід титану. Медичний матеріал нового покоління / В.Е. Гюнтер та ін. Харків: НТУ «ХПІ», 2006. 296 с.

14. Медичний інструмент та імпланти з нікеліду титану: металознавство, технологія, застосування / Ільїн А.А та ін. *Метали*. 2002. №3. С. 105-110.

15. Беспалова О. Я. Біоматеріали та біосумісність: Навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Медична інженерія» «Регенеративна та біофармацевтична інженерія» спеціальність 163 «Біомедична інженерія» [Електронний ресурс]: Київ: КПІ ім. І. Сікорського, 2021. 97 с.

16. Олійник І.М. Конспект лекцій з дисципліни «Біоматеріали» для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр»: Маріуполь 2019. 38 с.

17. Савцова О.В. Нові керамічні та скломатеріали спеціального призначення: конспект лекцій: Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 104 с.

18. Хорошилова Т.І., Хромишев С.В., Рябов С.В. Високомолекулярні сполуки: підручник: видавництво Мелітопольського державного педагогічного університету ім. Богдана Хмельницького, 2013. 178 с.

19. Гетьманчук Ю.П., Братичак М.М. Хімія та технологія полімерів: Видавництво «Бескид Біт», Львів 2006. 495 с.

20. Кравцов В.С., Кравцов О.В., Бурмістр М.В. Хімія і фізика високомолекулярних сполук: Дніпропетровськ: УДХТУ, 2002. 560 с.

21. Авраменко В.Л., Підгорна Л.П., Черкашина Г.М., Близнюк О.В. Технологія виробництва та переробки полімерів медико-біологічного призначення: навчальний посібник для студентів хіміко-технологічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Харків: 2018. 356 с.

22. Спорягін Е. О., Варлан К. Є. Теоретичні основи та технологія виробництва полімерних композиційних матеріалів: навчальний посібник: Дніпропетровськ: Видавництво ДНУ, 2012. 190 с.

23. Ніконов. Є.М. Технологія виробництва високомолекулярних сполук: конспект лекцій: Суми: Сумський державний університет, 2014. 115 с.

24. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: підручник / Д.Ф. Чернега та ін. Київ: Вища школа, 2006. 503 с.

25. Верховлюк А.М., Нарівський А.В., Могилатенко В.Г. Технологія одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: навчальний посібник. Київ: Вініченко, 2016. 222 с.

26. Суббота І.С., Спасьонова Л.М. Інноваційні технології кераміки; [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія»: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 65 с.

27. Луцюк І.В. Фізико-хімічні основи технологій хімічно модифікованих оксидних керамічних порошків технічного призначення: дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук: Львів, 2016. 293с.

28. Мелентев О.Б. Теорія і методика позашкільної освіти; Умань, «АЛМІ», 2013. 182 с.

29. Сліпчишин Л.В. Методичні засади впровадження сучасних підходів в роботи гуртків: Львів СПОЛОМ, 2015. 116 с.

30. Лашнева В.В., Максюта І.І. Матеріали та сплави біосумісні. Енциклопедія Сучасної України: енциклопедія [електронна версія] / ред.: І.М. Дзюба, А.І. Жуковський, М.Г. Железняк та ін.; НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2018. Т. 19. URL: <https://esu.com.ua/article-66662>

31. Методи отримання порошків. URL: https://stud.com.ua/173342/tehnika/metodi_otrimannya_poroshkiv

32. Теоретичні основи технології кераміки та скла. Процеси і методи керамічної технології [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» спеціалізації «Хімічні технології неорганічних керамічних матеріалів»/ КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: І.С. Суббота, Л.М. Спасьонова. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 124 с.

33. Наноматеріали, нанотехнології, нанопристрої / Боровий М.О. та ін. Київ: «Інтерсервіс», 2015. 350 с.

34. Ерік Дрекслер. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Ерік_Дрекслер

35. Шаторна В.Ф. Нанотехнології, наномедицина, нанобіологія: погляд на проблему. *Вісник проблем біології і медицини*. 2013. Вип. 1, том 2 (99). С. 40-44.

36. XXI століття – епоха нанотехнологій. URL:
[http://lib.vntu.edu.ua/pages/362.html#:~:text=Фейнман%20говорив%3A%20\"...цїл еспрямований%20вплив%20на%20окремі%20атоми.](http://lib.vntu.edu.ua/pages/362.html#:~:text=Фейнман%20говорив%3A%20\)
37. Балезюк Ф.В., Куркаєв А.С. Нанотехнології для медицини. Київ: Національний медичний університет ім. Богомольця, 2008. 103 с.
38. Вуглецеві нанотрубки як новий клас матеріалів для нанобіотехнології / С.В. Прилуцька, О.В. Ременяк, Ю.В. Гончаренко, Ю.І. Прилуцький. *Біотехнологія*. 2009. Т.2, №2. С. 55-66.
39. Летняк Н.Я., Корда М.М. Вуглецеві нанотрубки – перспективи застосування та ризики для здоров'я (Огляд). *Медична та клінічна хімія*. 2016. Т. 18, № 3. 96-100.
40. Микитюк М.В. Наночастинки та перспективи їх використання в біології та медицині. *Проблеми екології та медицини*. 2011. Т.15, №.5-6. С. 41-49.
41. Гідрогелі на основі хітозану для транспортування лікарських препаратів. URL: <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/c8e22fee-472a-40ea-8f87-9188e24957d3/content>