Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра біомедичної інженерії

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор з науково-педагогічної роботи по організації навчального процесу та його науково-методичного забезпечення

Васілевський О. М.

"17" 09 2020 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1.10 Апаратно-програмне та медико-технічне забезпечення імплантів та медичних апаратів

(шифр і назва навчальної дисципліни)

підготовки магістра

(назва рівня вищої освіти)

галузь знань 16 – Хімічна та біоінженерія

(шифр і найменування галузі знань)

спеціальність 163 – Біомедична інженерія

(код і найменування спеціальності)

освітня програма Інтелектуальні штучні імпланти та медичні апарати в біоінженерії

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Розроблено в рамках проекту "Erasmus+ (CBHE) BioArt "Інноваційна мультидисциплінарна освітня програма зі штучних імплантів для біоінженерії для бакалаврів та магістрів".

Developed in the frame of project "Erasmus+ (CBHE) BioArt "Innovative Multidisciplinary Curriculum in Artificial Implants for Bio-Engineering BSc / MSc Degrees" (586114-EPP- 1-2017- 1-ES- EPPKA2-CBHE- JP).

Вінниця – 2020 рік

Робоча програма навчальної дисципліни «Апаратно-програмне та медико-технічне забезпечення імплантів та медичних апаратів»
для здобувачів освітнього ступеня магістра
галузі знань 16 – Хімічна та біоінженерія
спеціальності 163 – Біомедична інженерія

освітня програма Апаратно-програмне та медико-технічне забезпечення імплантів та медичних апаратів, 2020. – 13 с.

Розробники:
Тимчик Сергій Васильович, декан ФІРЕН, канд. техн. наук, доцент
Гаврілов Дмитро Володимирович, доцент кафедри БМІ, канд. техн. наук, доцент

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри біомедичної інженерії

Протокол від «9» червня 2020 року № 13

Завідувач кафедри _____ доц. Коваль Л. Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Схвалено Методичною комісією ФІРЕН

Протокол від «10» червня 2020 року № 10

Голова Методичної комісії ФІРЕН _____ проф. Кичак В. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Схвалено Методичною радою ВНТУ

Протокол від «17» 09 2020 року № 1

Голова _____ проф. Васілевський О. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

© С. В, Тимчик,
Д. В. Гаврілов, 2020 рік.
© ВНТУ, 2020 рік

1. Опис навчальної дисципліни

<table>
<tr><td rowspan="2">Найменування показників</td><td rowspan="2">Галузь знань, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень</td><td colspan="2">Характеристика навчальної дисципліни</td></tr>
<tr><td>денна форма навчання</td><td>заочна форма навчання</td></tr>
<tr><td>Кількість кредитів – 4</td><td>Галузь знань
16 – Хімічна та біоінженерія
(шифр і найменування)</td><td colspan="2">Обов’язкова</td></tr>
<tr><td>Модулів – 2</td><td rowspan="6">спеціальність 163 – Біомедич-на інженерія
освітня програма
Апаратно-програмне та медико-технічне забезпечення імплантів та медичних апаратів</td><td colspan="2">Рік підготовки:</td></tr>
<tr><td>Змістових модулів – 2</td><td>1м</td><td>1м</td></tr>
<tr><td>Індивідуальне науково-дослідне завдання (реферати, розрахункові, графічні, розрахунково-графічні роботи, контрольні роботи, що виконуються під час СРС (домашні контрольні роботи), курсові роботи, дипломні проекти (роботи) та ін. визначаються робочим навчальним планом чи рішенням кафедри) –</td><td colspan="2">Семестр</td></tr>
<tr><td>Загальна кількість годин – 120</td><td>2м</td><td>2м</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лекції</td></tr>
<tr><td rowspan="10">Тижневих годин для денної форми навчання:
аудиторних – 3
самостійної та індивідуальної роботи студента – 3,67</td><td rowspan="10">Рівень вищої освіти:
другий (магістерський)</td><td>27 год.</td><td>12 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Практичні, семінарські</td></tr>
<tr><td>27 год.</td><td>8 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лабораторні</td></tr>
<tr><td>–</td><td>–</td></tr>
<tr><td colspan="2">Курсова робота</td></tr>
<tr><td>–</td><td>–</td></tr>
<tr><td colspan="2">Самостійна робота</td></tr>
<tr><td>66 год.</td><td>100 год.</td></tr>
<tr><td>Вид контролю:
іспит</td><td>Вид контролю:
іспит</td></tr>
</table>

Примітка.
Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:
для денної форми навчання – 45,0 % / 55,0 %,
для заочної форми навчання – 16,7 % / 83,3 %,

Мови навчання – українська, англійська.

2. Передумови для вивчення дисципліни

Дисципліна «Апаратно-програмне та медико-технічне забезпечення імплантів та медичних апаратів» є базовою професійною дисципліною та базується на знаннях, отриманих здобувачами освіти на першому (бакалаврському) рівні вищої освіти, а саме: базові знання з проектування та побудови біотехнічних систем, побудови моделей об’єктів, обробки біомедичної інформації. Ця дисципліна безпосередньо пов’язана і передує переддипломній практиці, державному кваліфікаційному екзамену та магістерській кваліфікаційній роботі. Базовими для даної дисципліни є "Обробка біомедичних зображень та реконструкція об'єктів" та "Регенеративна медицина та 3D друк для біомедичної інженерії".

3. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення дисципліни. Вивчення студентами фізичних основ будови та функціонування організму людини на різних рівнях організації, основ відновлювальних медичних технологій.

Програмні результати вивчення дисципліни

Згідно з **вимогами освітньо-професійної програми здобувачі освіти в результаті вивчення дисципліни здобувають такі результати.**

1. Проектувати, конструювати, вдосконалювати та застосовувати медико-технічні та біоінженерні вироби, прилади, апарати і системи з дотриманням технічних вимог, а також супроводжувати їх експлуатацію (ПРН1).
2. Створювати і вдосконалювати засоби, методи та технології біомедичної інженерії для всебічного дослідження і розробки біоінженерних об’єктів та систем медико-технічного призначення (ПРН3).
3. Розробляти, планувати, виконувати та обґрунтовувати інноваційні проекти біоінженерних об’єктів та систем медико-технічного призначення з урахуванням інженерних, медичних, правових, економічних, екологічних та соціальних аспектів, здійснювати їх інформаційне та методичне забезпечення. (ПРН4).
4. Розробляти та застосовувати штучні інетелектуальні імпланти, використовуючи інформаційні технології цифрової обробки біомедичних зображень та реконструкції об’єктів, 3D-друку, сучасні біоматеріали та засоби медичної електроніки (ПРН9).

Компетентності, якими повинен оволодіти здобувач в результаті вивчення дисципліни.

1. Здатність розробляти робочу гіпотезу, планувати і ставити експерименти для перевірки гіпотези і досягнення інженерної мети за допомогою відповідних технологій, технічних засобів та інструментів (ФК2).
2. Здатність створювати і вдосконалювати засоби, методи та технології біомедичної інженерії для дослідження і розробки біоінженерних об'єктів та систем медико- технічного призначення (ФК4).
3. Здатність розробляти технічні завдання на створення, а також моделювати, оцінювати, проектувати та конструювати складні біоінженерні та медико-інженерні системи і технології (ФК5).
4. Здатність розробляти і проектувати інтелектуальні штучні імпланти для біоінженерії (ФК10).

Поточний контроль знань здійснюється у формі фронтального, індивідуального чи комбінованого контролю знань студентів під час виконання і захисту практичних робіт; інших видів самостійної роботи; підсумковий контроль – тестування, колоквіум, опитування, контрольна робота (для студентів заочної форми навчання), іспит.

На самостійну роботу виноситься вивчення окремих питань курсу та опрацювання проблемних завдань, написання есеїв, розробка презентацій та виголошення доповідей, підготовка до практичних занять, колоквіумів, тестування, написання контрольної роботи (для студентів заочної форми навчання), іспиту, виконання окремих індивідуальних науково-дослідних робіт.

4. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Апаратно-програмне забезпечення імплантів та медичних апаратів.

Тема 1. Методи аналізу параметрів біосигналів

Класифікація методів та їх зміст. Гістограма, скатерограма, мода, варіаційний розмах. Статистичні показники біосигналів для клінічного аналізу. Спектральне перетворення Фур'є: пряме і зворотне. Берг-Фур'є перетворення. Спектральні характеристики біосигналів.

Тема 2. Апаратно-програмне забезпечення (АПЗ) біотехнічних та медичних апаратів та систем (БТМАС)

Апаратно-програмне забезпечення БТМАС. Загальні вимоги. Структура апаратного забезпечення. Інтерфейсне забезпечення. Програмне забезпечення. Функціональні підсистеми АПЗ.

Тема 3. Методології проектування АПЗ БТМАС

Методології проектування АПЗ БТМАС. Загальні підходи. Класифікація принципів побудови. Критерії відкритості системи. Єдиний інформаційний простір. Зовнішнє і внутрішнє проектування АПЗ БТМАС. Загальні підходи до проектування інформаційних систем

Тема 4. Життєвий цикл АПЗ БТМАС

Технології проектування АПЗ БТМАС. Стандарти проектування. Вимоги до технології проектування інформаційних систем. Життєвий цикл АПЗ БТМАС. Моделі життєвого циклу. Структура проектних робіт. Класичні і спеціалізовані методології проектування АПЗ БТМАС.

Тема 5. Автономний функціонально-завершений модуль

Поняття автономного функціонально-завершеного модуля (ФЗММ). Питання електробезпеки пацієнта. Апаратний захист інформації. Структура ФЗММ. Алгоритм функціонування.

Тема 6. Універсальний вимірювальний канал

Комп'ютерний вимірювальний канал (КВК). Структура і функціональне призначення. Модульний принцип побудови. Вимоги до елементної бази КВК

Змістовий модуль 2. Медико-технічне забезпечення імплантів та медичних апаратів.

Тема 7. Структурна організація інформаційного забезпечення

Структурна організація інформаційного забезпечення. Принципи і класи доказової медицини. Узагальнена структурна схема адаптивного інформаційного забезпечення. Програмний захист інформації в АПЗ БТМАС

Тема 8. Автоматизована система підтримки і забезпечення рішень лікаря

Автоматизована система підтримки і забезпечення рішень лікаря. Функціональна схема процесів прийняття рішень лікарем. Загальна структура медичної експертної системи. Інфраструктура інформаційної підтримки в медицині. Структура, організація та алгоритми функціонування автоматизованих робочих місць.

Тема 9. Вимоги до структури і склад технічної складової БТС

Узагальнена структура БТС. Визначення технічної складової. Склад технічної складової. Вимоги до конструктивних матеріалів, із яких виготовляють сенсори. Принцип мультисистемності при побудові БТС. Апаратне забезпечення БТС. Функції і структура технічної складової. Програмна складова БТС. Тренувальний пристрій. Периферійна підсистема. Усунення артефактів і перешкод методами спектральної фільтрації, стабілізації ізолінії, схемо технічними методами.

Тема 10. Визначення біологічної складової та її характеристик з позиції фізичного благополуччя особистості

Поняття фізичного благополуччя особистості. Інформаційно-структурна модель особистості персоналу. Визначення біологічної складової. Критерії емоційного благополуччя. Вимоги до елементної бази біомедичної апаратури.

Тема 11. Методологія проектування медичних експертних систем

Метод системного аналізу моделювання для опису предметної області ЕС. Аналіз предметної області. Функціональна та інформаційні моделі предметної області. Поняття компетентності експертів. Методи і критерії визначення компетентності експертів.

Тема 12. МТЗ БТМАС для спортивної медицини

Вимоги до МТЗ БТМАС для спортивної медицини. Концепція створення комп'ютерних програм для МТЗ. Класифікація комп'ютерних програм. Вимоги до сенсорів. Особливості конструктивної реалізації МТЗ БТМАС для спортивної медицини.

5. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						Заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.		л	п	лаб	інд	с.р.
Змістовий модуль 1. Апаратно-програмне забезпечення імплантів та медичних апаратів												
Тема 1. Методи аналізу параметрів біосигналів	10	3	3			4	9	1				8
Тема 2. Апаратно-програмне забезпечення (АПЗ) біотехнічних та медичних апаратів та систем (БТМАС)	10	2	2			6	9	1				8
Тема 3. Методології проектування АПЗ БТМАС	10	2	2			6	10	1	1			8
Тема 4. Життєвий цикл АПЗ БТМАС	10	2	2			6	9	1				8
Тема 5. Автономний функціонально-завершений модуль	10	2	2			6	9	1				8
Тема 6. Універсальний вимірювальний канал	10	3	3			4	10	1	1			8
Разом за змістовим модулем 1	60	14	14			32	56	6	2		4	48
Змістовий модуль 2. Медико-технічне забезпечення імплантів та медичних апаратів												
Тема 7. Структурна організація інформаційного забезпечення	10	2	2			6	9	1				8
Тема 8. Автоматизована система підтримки і забезпечення рішень лікаря	10	2	2			6	10	1	1			8
Тема 9. Вимоги до структури і склад технічної складової БТС	10	3	3			4	9	1				8
Тема 10. Визначення біологічної складової та її характеристик з позиції фізичного благополуччя особистості	10	2	2			6	10	1	1			8
Тема 11. Методологія проектування медичних експертних систем	10	2	2			6	9	1				8
Тема 12. МТЗ БТМАС для спортивної медицини	10	2	2			6	9	1				8
Разом за змістовим модулем 2	60	13	13			34	56	6	2		4	48
Контрольна робота для студентів заочної форми навчання							8				8	
Усього годин	**120**	27	27	-	-	66	**120**	12	4		8	92

6. Теми семінарських занять – *навчальним планом не передбачені*

7. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Вивчення технологічних можливостей лазерного випромінювання для різання біосумісних матеріалів.	3
2.	Дослідження технологічного процесу налагодження лазерного ЧПУ верстата	2
3.	Створення моделей для різання	2
4.	Процес виготовлення деталей штучних імплантів та протезів на прикладі різних матеріалів (штучна шкіра, пластики, метали)	2
5.	Формоутворення глухих отворів при лазерній обробці	2
6.	Дослідження точності формування отворів та контурів при лазерній обробці біосумісних матеріалів	3
7.	Дослідження впливу режимів лазерної різки біосумісних матеріалів на якісні показники процесу.	2
8.	Розробка вимірювального каналу для біотехнічної системи.	2
9.	Розробка інтерфейсу користувача для біотехнічної системи.	3
10.	Розробка системи вимірювання та передачі показників біооб’єкту.	2
11.	Розробка структури бази даних	2
12.	Аналіз засобів для фотоплетизмографії та пульсоксиметрії.	2
	Разом	27

8. Теми лабораторних занять – *навчальним планом не передбачені*

9. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Тема 1. Методи аналізу параметрів біосигналів. Спектральні характеристики біосигналів.	6
2	Тема 2. Апаратно-програмне забезпечення (АПЗ) біотехнічних та медичних апаратів та систем (БТМАС). Функціональні підсистеми АПЗ.	6
3	Тема 3. Методології проектування АПЗ БТМАС. Загальні підходи до проектування інформаційних систем	6
4	Тема 4. Життєвий цикл АПЗ БТМАС. Класичні і спеціалізовані методології проектування АПЗ БТМАС.	6
5	Тема 5. Автономний функціонально-завершений модуль. Алгоритм функціонування	4
6	Тема 6. Універсальний вимірювальний канал. Вимоги до елементної бази КВК	4
7	Тема 7. Структурна організація інформаційного забезпечення. Програмний захист інформації в АПЗ БТМАС	6

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
8	Тема 8. Автоматизована система підтримки і забезпечення рішень лікаря. Структура, організація та алгоритми функціонування автоматизованих робочих місць.	6
9	Тема 9. Вимоги до структури і склад технічної складової БТС. Усунення артефактів і перешкод методами спектральної фільтрації, стабілізації ізолінії, схемо технічними методами	4
10	Тема 10. Визначення біологічної складової та її характеристик з позиції фізичного благополуччя особистості. Вимоги до елементної бази біомедичної апаратури	6
11	Тема 11. Методологія проектування медичних експертних систем. Методи і критерії визначення компетентності експертів.	6
12	Тема 12. МТЗ БТМАС для спортивної медицини. Особливості конструктивної реалізації МТЗ БТМАС для спортивної медицини	6
	Усього	66

10. Індивідуальні завдання

Під час вивчення дисципліни студенти готують доповіді, презентації, есеї, виконують індивідуальні домашні завдання. Навчальним планом передбачено 1 контрольну роботу для студентів заочної форми навчання. Крім того, за рішенням кафедри та за узгодженням з науковим керівником студенти готують доповіді на щорічну науково-технічну конференцію ВНТУ.

11. Методи навчання

Лекція, проблемна лекція, фасилітація, тренінг, демонстрація, зокрема, з використанням мультимедійних засобів навчання, практичні заняття (під час проведення практичних робіт використовується відповідне обладнання та комп'ютерне устаткування, розташоване в лабораторіях кафедри, презентації, електронні матеріали та програмні засоби), консультації, підготовка статей і доповідей науково-дослідного характеру.

12. Засоби діагностування результатів навчання

Поточний контроль здійснюється у формі фронтального, індивідуального чи комбінованого контролю знань студентів під час виконання і захисту практичних робіт та індивідуальної роботи; підсумковий контроль – тестування, колоквіум, опитування, контрольна робота (для студентів заочної форми навчання), іспит.

13. Розподіл балів, які отримують студенти

Таблиця 13.1 – Вид контролю: іспит

Поточне тестування та самостійна робота												Підсумковий тест (іспит)	Сума
Модуль 1						Модуль 2						25	100
Змістовий модуль № 1						Змістовий модуль № 2							
Т1	Т2	Т3	Т4	Т5	Т6	Т7	Т8	Т9	Т10	Т11	Т12		
37						38							

Т1, Т2 ... Т12 – теми змістових модулів.

Таблиця 13.2 – Оцінювання знань, умінь та навичок студентів з окремих видів роботи та в цілому по модулях (в балах)

Вид робіт	Модуль	
	1	2
1. Виконання практичних завдань / 1 завдання	18 / 3	18 / 3
2. Колоквіум	13 / 13	14 / 14
3. Виконання завдань з СРС	5	5
4. Активна робота на заняттях	1	1
Всього	37	38

Таблиця 13.4 – Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою (для екзамену, диференційованого заліку, курсового проекту (роботи), практики)
90 – 100	A	відмінно
82 – 89	B	добре
75 – 81	C	
64 – 74	D	задовільно
60 – 63	E	
35 – 59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання
0 – 34	F	незадовільно з обов’язковим повторним вивченням

14. Критерії оцінювання знань, умінь та навичок студентів

Рівень компетентності	**Національна шкала**	**Шкала ECTS**	**Критерії оцінювання**
IV Високий (творчий) «5»	відмінно	A	Виставляється, якщо при відповіді на питання виявлено всебічні, систематизовані, глибокі знання матеріалу, який виноситься на контроль, уміння вільно виконувати завдання, передбачені програмою, знання основної і додаткової літератури, передбаченої програмою на творчому рівні.

III Достатній (конструк-тивний) «4»	добре «4+»	B	Повні знання з питань і задач, що стоять перед студентом. Уміння викладати основні ідеї. Вміння професійно відстоювати свою точку зору. Припускаються несуттєві неточності у викладенні матеріалу та у відповідях.
	добре «4»	C	Достатньо повні знання з поставлених питань і задач. Вміння викладати основні ідеї. Здатність самостійно застосовувати вивчений матеріал на рівні стандартних ситуацій, наводити окремі власні приклади на підтвердження власних тверджень. Вміння доводити правильність своїх рішень. Несуттєві неточності у відповідях та деякі нераціональності при програмуванні задач.
II Середній (репро-дуктив-ний) «3»	задовільно «3+»	D	Студент може відтворити значну частину теоретичного матеріалу, виявляє знання та розуміння основних положень, з допомогою викладача може аналізувати матеріал, робити висновки та розробляти програмні блоки. Пояснення неповні, нелаконічні, не завжди точні. Відповіді на питання неповні, містять неточності, при вирішенні задач застосовуються не найраціональніші рішення.
	задовільно «3»	E	Задовільні знання програмного матеріалу на рівні вищому за початковий. Здатність за допомогою викладача логічно відтворювати значну частину матеріалу. При відповіді на запитання виникають труднощі у деяких положеннях, відповіді не повні, програми пишуться нераціонально, не використовуються всі ефективні засоби програмування.
I Низький «2»	«незадо-вільно з можливістю повторного складання»	FX	Теорією володіє на рівні фрагментів, викладає матеріал уривчасто. Утруднюється в обгрунтуванні рішень, на запитання викладача дає неправильні відповіді (40-60%), пояснення не до ладу. Самостійно, без допомоги викладача, не може сформувати алгоритм рішення задачі. Програми не раціональні та неефективні, при програмуванні використовуються лише прості конструкції.
	«незадо-вільно з обо-в'язковим повторним вивченням дисципліни»	F	Теорією володіє на рівні фрагментів, викладає матеріал уривчасто. Утруднюється в обгрунтуванні рішень, на запитання викладача дає неправильні відповіді (60-100%). Самостійно, без допомоги викладача, не може сформувати алгоритм рішення задачі.

15. Рекомендована література

Базова

1. Krzysztof Iniewski. Biological and Medical Sensor Technologies. CRC Press. 2017. ISBN 978-1-138-07321-0.
2. Andreas Inmann, Diana Hotgins. Implantable sensor systems for medical applications. Woodhead Publishing. 2013. ISBN 9781845699871.
3. Yang, Guang-Zhong (Ed.) Implantable Sensors and Systems: From Theory to Practice. Springer. 2018. ISBN 978-3-319-69748-2.
4. Ndjountche, Tertulien Chemical Sensors and Biosensors for Medical and Biological Applications, Wiley-VCH, 2016. ISBN-10: 3527288554.
5. Ursula E. Spichiger-Keller, Digital Electronics 2: Sequential and Arithmetic Logic Circuits, John Wiley & Sons, 1998. ISBN: 978-1-848-21985-4.
6. Kyung, C.-M., Yasuura, H., Liu, Y., Lin, Y.-L. (Eds.), Smart Sensors and Systems: Innovations for Medical, Environmental, and IoT Applications, Springer, 2017. ISBN 978-3-319-33201-7.
7. Н.А. Кореневский, Е.П. Попечителев, С.А. Филист, Проектирование электронной медицинской аппаратуры для диагностики и лечебных воздействий: монография, Курск: Курская городская типография, 1999.

Допоміжна

1. Nordin, Margareta, and Victor Hirsch Frankel, eds, Basic biomechanics of the musculoskeletal system Lippincott Williams & Wilkins, 2001.
2. Nilanjan Dey Jyotismita, Chaki Rajesh Kumar, Sensors for Health Monitoring, 1st Edition, Academic Press, 2019. ISBN: 9780128193617.
3. George K. Knopf, Amarjeet S. Bassi, Smart Biosensor Technology, CRC Press Published, 2018. ISBN 9781498774482.

16. Інформаційні ресурси

1. Materials for Biomedical Applications. MIT Course Number 3.051J / 20.340J. https://ocw.mit.edu/courses/materials-science-and-engineering/3-051j-materials-for-biomedical-applications-spring-2006/
2. Design of Medical Devices and Implants. MIT Course Number 2.782J / 3.961J / 20.451J / HST.524J. https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-782j-design-of-medical-devices-and-implants-spring-2006/
3. Biomaterials-Tissue Interactions. MIT Course Number 20.441J / 2.79J / 3.96J / HST.522J. https://ocw.mit.edu/courses/biological-engineering/20-441j-biomaterials-tissue-interactions-fall-2009/

This project has been funded with support from the European Commission. This publication / communication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.