

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

 О.Г. Прохоренко
«05» июля 2023 г.

Регистрационный № УД – 12390/уч.

Моделирование костной ткани

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 03 02 Механика и математическое моделирование

Минск, 2023

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 02-2013, учебных планов: № G31-136/уч. от 30.05.2013 г., №G31/СИБД-239/уч. от 20.06.2020 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Никитин Андрей Викторович – старший преподаватель кафедры био- и наномеханики механико-математического факультета Белорусского государственного университета.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

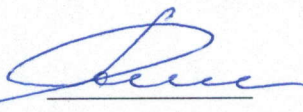
Василевич Юрий Владимирович - профессор кафедры теоретическая механика и механика материалов машиностроительного факультета Белорусского национального технического университета, доктор физико-математических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой био- и наномеханики
(протокол № 10 от 25.05.2023 г.)

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 9 от 29.06.2023 г.)

Зав. кафедрой



Г.И.Михасев

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Целью дисциплины является математическое моделирование костной ткани с учетом внутренней неоднородной структуры, а также сопутствующих ей мягких тканей опорно-двигательного аппарата, моделирующее различные типы биомеханического состояния системы для определения перемещений эндопротеза в костном ложе под действием сосредоточенных сил и моментов и исследованию напряженно-деформированного состояния.

Задачами дисциплины «Моделирование костной ткани» являются:

1. Формирование основных понятий современных материалов, используемых в хирургических имплантатах;
2. Формирование способности в самостоятельной практической деятельности; приобретения навыков создания математических моделей для решения задач механики. Умения находить и обосновывать оптимальные пути и методы решений поставленных задач
3. Формирование понятия биомеханического моделирования различных типов состояния костной ткани, а также мягких тканей;
4. Выработка навыков практического использования современных CAD/CAE-пакетов для исследования напряженно-деформированного состояния протеза при эндопротезировании крупных суставов
5. Использование конечно-элементного моделирования при решении различных задач биомеханики, описывающих костную ткань как изотропную неоднородную среду.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием: учебная дисциплина относится к **дисциплинам специализации** компонента учреждения высшего образования.

Использование новых современных программных систем и пакетов позволяют, не углубляясь в знание частных вопросов уравнений математической физики, непосредственно на цели исследования, ускорить процесс получения решения типовых задач. Однако, это требует усвоения индивидуальной для вычислительных систем логики создания областей исследования, определения краевых условий, решения и просмотра результатов.

Связь с другими дисциплинами. Программа дисциплины «Моделирование костной ткани» составлена с учетом межпредметных **связей** и программ по смежным дисциплинам. Ее изучение базируется на знаниях дисциплин «Дифференциальные уравнения», «Теоретическая механика», «Механика сплошной среды», «Биомеханика системы эндопротез-костная ткань».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Моделирование костной ткани» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

академические компетенции:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач
- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.
- АК-4. Уметь работать самостоятельно.
- АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью)
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

социально-личностные компетенции:

- СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.
- СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
- СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике.
- СЛК-6. Уметь работать в команде.

профессиональные компетенции:

- ПК-1. Разрабатывать практические рекомендации по использованию научных исследований, планировать и проводить экспериментальные исследования, исследовать патентоспособность и показатели технического уровня разработок программного обеспечения информационных систем, разрабатывать научно-техническую документацию.
- ПК-2. Применять современные методы проектирования информационных систем, использовать WEB-сервисы, оформлять техническую документацию.
- ПК-3. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.
- ПК-4. Разрабатывать и тестировать информационные системы, осуществлять защиту приложений и данных.
- ПК-5. Заниматься аналитической и научно-исследовательской деятельностью в области механики и прикладной математики.
- ПК-6. Использовать и развивать современные информационные технологии и средства автоматизации управленческой деятельности.
- ПК-7. Проводить исследования в области эффективности решения производственных задач.
- ПК-8. Работать с научной, нормативно-справочной и специальной литературой, разрабатывать и использовать современное учебно-методическое обеспечение.
- ПК-9. Вести преподавательскую работу в учреждениях высшего и среднего специального образования в соответствии с полученной квалификацией.
- ПК-14. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.
- ПК-19. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.
- ПК-20. Владеть современными средствами телекоммуникаций.

– ПК-24. Работать с научной, технической и патентной литературой.

В результате освоения учебной дисциплины «Моделирование костной ткани» студент должен:

знать: основы работы в системе конечно-элементного моделирования ANSYS WORKBENCH.

уметь: создавать математическую модель объекта исследования, проводить анализ полученных результатов.

владеть: программным обеспечением для создания расчетных моделей и анализа результатов ANSYS WORKBENCH, SolidWorks, MS Office, Wolfram Mathematica.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 7 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Моделирование костной ткани» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 80 часов, в том числе 36 аудиторных часов, из них: лекции – 6 часов, лабораторные занятия – 28 часов, управляемая самостоятельная работа – 2 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Введение. Предмет биомеханики.

Предмет биомеханики и методы современной математики и механики в моделировании биомеханических систем. Биомеханические системы человека. Составные части опорно-двигательного аппарата и их функционирование.

Раздел 1. Биологические материалы. Механические свойства биологических материалов

Тема 1.1. Виды биологических материалов. Изотропные, анизотропные и ортотропные свойства. Механические свойства костной ткани, структура и состав. Типы костной ткани.

Тема 1.2. Способность кости адаптироваться к внешним нагрузкам, закон Вольфа, изменение прочностных характеристик в зависимости от возраста. Механические свойства связок и сухожилий, структура и состав.

Тема 1.3. Коллагеновые волокна, влияние их расположения на кривую зависимости деформации от напряжения. Зависимость модуля упругости от уровня деформации. Главные оси и моменты инерции костей нижних конечностей.

Раздел 2. Эндопротезирование суставов и их виды. Моделирование напряженно-деформированного состояния после установки протеза при эндопротезировании.

Тема 2.1. Виды эндопротезирования крупных суставов.

Тема 2.2. Математическая модель бесцементного эндопротеза тазобедренного сустава.

Тема 2.3. Двухмерная реконструкция операции эндопротезирования тазобедренного сустава бесцементным эндопротезом. Условия нагруженности и граничные условия для эндопротезированного тазобедренного сустава.

Тема 2.4. Влияние технологии установки эндопротеза на напряженно-деформированное состояние бедренной кости. Устойчивые и неустойчивые положения равновесия эндопротеза.

Раздел 3. Методы лучевой диагностики. Принцип работы компьютерной томографии. Шкала Хаунсфилда.

Тема 3.1. Принцип действия рентгеновского излучения и компьютерной томографии. Шкала Хаунсфилда.

Тема 3.2. Построение с помощью САD-программ трехмерной поверхности костей скелета человека на основании компьютерно-томографического исследования.

Тема 3.3. Определение областей прикрепления мышц и сухожилий на поверхности кости.

Раздел 4. Моделирование костной ткани в норме и в остеопорозном состоянии.

Тема 4.1. Простейшая математическая модель бедренной кости. Представление пористой структуры костной ткани в виде модели неоднородного изотропного материала на основании томографических данных.

Тема 4.2. Зависимость между плотностью и упругими свойствами костной ткани. Разработка модели костной ткани в норме и остеопорозном состоянии. Расчет НДС бедренной кости с учетом внутренней структуры.

Раздел 5. Моделирование эндопротезированной бедренной кости для двух состояний костной ткани.

Тема 5.1. Конечно-элементное моделирование установки эндопротеза в проксимальном отделе бедренной кости. Биомеханическое моделирование условий нагруженности и граничных условий для конечно-элементной модели бедренной кости при нормальном состоянии костной ткани и остеопорозном.

Тема 5.2. Расчет напряженного состояние в области соприкосновения эндопротеза и костной ткани. Влияние состояния костной ткани на несущую способность эндопротезированной бедренной кости.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма получения высшего образования с применением
дистанционных образовательных технологий (ДОТ)

Номер раздела	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов по УСР	Формы контроля знаний
		лекции	практические занятия	семинарские занятия	лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Введение. Предмет биомеханики.							
1.	Биологические материалы. Механические свойства биологических материалов	1,5			6			Опрос
1.1.	Виды биологических материалов. Изотропные, анизотропные и ортотропные свойства. Механические свойства костной ткани, структура и состав. Типы костной ткани.				2			
1.2.	Способность кости адаптироваться к внешним нагрузкам, закон Вольфа, изменение прочностных характеристик в зависимости от возраста. Механические свойства связок и сухожилий, структура и состав.				2			Отчет
1.3.	Коллагеновые волокна, влияние их расположения на кривую зависимости деформации от напряжения. Зависимость модуля упругости от уровня деформации. Главные оси и моменты инерции костей нижних конечностей.				2			Дискуссия
2.	Эндопротезирование суставов и их виды. Моделирование напряженно-деформированного состояния после установки протеза при эндопротезировании	1,5			8			Опрос
2.1.	Виды эндопротезирования крупных суставов.				2			
2.2.	Математическая модель бесцементного эндопротеза тазобедренного сустава.				2			

2.3.	Двухмерная реконструкция операции эндопротезирования тазобедренного сустава бесцементным эндопротезом. Условия нагруженности и граничные условия для эндопротезированного тазобедренного сустава.				2			Дискус сия
2.4.	Влияние технологии установки эндопротеза на напряженно-деформированное состояние бедренной кости. Устойчивые и неустойчивые положения равновесия эндопротеза.				2			Отчет
3.	Методы лучевой диагностики. Принцип работы компьютерной томографии. Шкала Хаунсфилда	1			6			Опрос
3.1.	Принцип действия рентгеновского излучения и компьютерной томографии. Шкала Хаунсфилда.				2			
3.2.	Построение с помощью CAD-программ трехмерной поверхности костей скелета человека на основании компьютерно-томографического исследования.				2			Отчет
3.3.	Определение областей прикрепления мышц и сухожилий на поверхности кости.				2			
4.	Моделирование костной ткани в норме и в остеопорозном состоянии.	1			4			Опрос
4.1.	Простейшая математическая модель бедренной кости. Представление пористой структуры костной ткани в виде модели неоднородного изотропного материала на основании томографических данных.				2			Дискус сия
4.2.	Зависимость между плотностью и упругими свойствами костной ткани. Разработка модели костной ткани в норме и остеопорозном состоянии. Расчет НДС бедренной кости с учетом внутренней структуры.				2			Отчет
5.	Моделирование эндопротезированной бедренной кости для двух состояний костной ткани	1			4			
5.1.	Конечно-элементное моделирование установки эндопротеза в проксимальном отделе бедренной кости. Биомеханическое моделирование условий нагруженности и граничных условий				2		2	Опрос

	для конечно-элементной модели бедренной кости при нормальном состоянии костной ткани и остеопорозном.						
5.2	Расчет напряженного состояние в области соприкосновения эндопртеза и костной ткани. Влияние состояния костной ткани на несущую способность эндопртезированной бедренной кости.			2			Проект
	Всего	6		28		2	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Чигарев А.В., Михасев Г.И., Борисов А.В. Биомеханика. -М.: Издательство Гревцова, 2010. - 284с.
2. Савич В.В., Киселев М.Г., Воронович А.И. Современные материалы хирургических имплантатов и инструментов. – 2-е изд. перераб. и доп. - Минск: ООО «ДокторДизайн», 2004 – 104 с.
3. Загородний Н.В. Эндопротезирование тазобедренного сустава. Основы и практика: руководство. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. -704с.
4. Зенкевич О.С. Метод конечных элементов в технике. Пер. с англ. Под ред. Б.Е. Победри. – М.: Мир, 1981. – 541с.
5. Норри Д., де Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов: Пер.с англ. – М.: Мир, 1981. – 304с.

Дополнительная литература

6. Оголихин Д.А., Метод конечных элементов. – М: Самиздат, 2018. – 100с.
7. Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. – М.: Стройиздат, 1982. – 448с.
8. Чигарев А.В., Михасев Г.И. Биомеханика. – М.: УП Технопринт, 2004. – 306с.
9. Рудаков Р.Н., Няшин Ю.И., Илья О.Р., Подгаец Р.М. Теоретическая механика и ее приложения к решению задач биомеханики: учебное пособие. - Пермь: Изд-во Пермского государственного технического университета, 2010. -141с.
10. Няшин Ю.И., Подгаец Р.М. Экспериментальные методы в биомехнике. -Пермь: Изд-во Пермского государственного технического университета, 2008. -400с.
11. Хенч Л., Джоунс Д. Биоматериалы, искусственные органы и инжиниринг тканей. – М.: Техносфера, 2006. -304с.
12. Bains, P.S., Sidhu, S.S., Bahraminasab, M., Prakash, C. Biomaterials in Orthopaedics and Bone Regeneration. Springer 2019. 256 p.

13. Tavares, João Manuel R. S., Fernandes, Paulo Rui. New Developments on Computational Methods and Imaging in Biomechanics and Biomedical Engineering. Springer; 1st ed. 2019. 170 p.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Диагностика результатов учебной деятельности по дисциплине «Моделирование костной ткани» проводится, как правило, во время аудиторных занятий. Для диагностики используются:

- отчеты по аудиторным лабораторным работам с их устной защитой;
- опрос;
- дискуссия;
- проект;

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины.

Для студентов, пропустивших контрольные мероприятия или получивших неудовлетворительную отметку решение о повторном проведении контрольного мероприятия выносится в соответствии с положением о рейтинговой системе оценки знаний студентов по дисциплине в Белорусском государственном университете.

Полученные студентом количественные результаты учитываются как составная часть итоговой отметки по дисциплине в рамках рейтинговой системы.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Моделирование костной ткани» учебным планом предусмотрен **экзамен**.

При формировании итоговой отметки используется рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний в итоговую отметку:

Формирование отметки за текущую успеваемость:

- устный опрос, дискуссия на лабораторных занятиях – 40 %;
- отчеты по аудиторным лабораторным работам с их устной защитой – 60 %.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе отметки текущей аттестации и экзаменационной отметки с учетом их весовых коэффициентов. Весовая отметка по текущей аттестации составляет 40 %, экзаменационной отметки – 60 %.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема № 5.1. Конечно-элементное моделирование установки эндопротеза в проксимальном отделе бедренной кости.

1. Создание трехмерных моделей бедренной кости при нормальном состоянии костной ткани и остеопорозном.
2. Создание трехмерной модели ножки бесцементного эндопротеза тазобедренного сустава.
3. Задание граничных условий и условий нагруженности для эндопротезированной бедренной кости, соответствующих различным фазам ходьбы
4. Расчет напряженного состояние в области соприкосновения эндопртеза с костной тканью бедренной кости.
5. Изучение влияния состояния костной ткани на несущую способность эндопртезированной бедренной кости.

Форма контроля – опрос.

Примерная тематика лабораторных занятий

1. Расчет механических характеристик связок и сухожилий в зависимости от возраста.
2. Расчет зависимостей модуля упругости от уровня деформации. Главные оси и моменты инерции костей нижних конечностей.
3. Моделирование напряженно-деформированного состояния бедренной кости.
4. Расчет двухмерной модели эндопротезированного тазобедренного сустава с различными парами трения головки эндопротеза бедренной кости и чашки эндопротеза тазовой кости.
5. Изучение зависимостей при расчете напряженно-деформированного состояния бесцементного эндопротеза тазобедренного сустава различного типоразмера.
6. Построение конечно-элементных моделей бедренной кости и задание неоднородных изотропных свойств костной ткани.
7. Расчет напряженно-деформированного состояния эндопротезированной бедренной кости.
8. Расчет напряженного состояние в области соприкосновения эндопртеза и костной ткани.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется **метод учебной дискуссии**, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме.

Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

При организации образовательного процесса используется **метод проектного обучения**, который предполагает организацию учебной деятельности студентов, направленной на развитие навыков планирования, самоорганизации, сотрудничества и предполагающий создание собственного программного продукта.

Использование метода проектного обучения обеспечивает практическое применение полученных знаний и позволяет приобрести опыт коллективной работы, необходимый для молодых специалистов.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

При изучении учебной дисциплины «Моделирование костной ткани» рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников по индивидуально заданной проблеме учебной дисциплины;
- решение задач и выполнение упражнений, выдаваемых на лабораторных занятиях;
- подготовка отчетов по лабораторным работам;
- подготовка к лабораторным занятиям с использованием размещенных в сетевом доступе учебных и учебно-методических материалов (программа учебной дисциплины, электронные учебные материалы лекций, методические указания, задания и информационные ресурсы для выполнения лабораторных работ, список рекомендуемой литературы и др.).

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Биомеханика. Основные определения и величины.
2. Кривая зависимости напряжения от деформации. Свойства материалов.
3. Биомеханика тазобедренного сустава.
4. Строение и диапазоны движений тазобедренного сустава согласно анатомическим осям.

5. Биомеханика коленного сустава.
6. Строение и виды движений коленного сустава согласно анатомическим осям.
7. Структура костей и их классификация.
8. Механические свойства костной ткани. Закон Вольфа.
9. Переломы костей их виды.
10. Механизм заживления переломов и типы фиксации перелома.
11. Патология суставов нижних конечностей.
12. Эндопротезирование суставов и их виды.
13. Методы лучевой диагностики. Принцип работы компьютерной томографии. Шкала Хаунсфилда.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Компьютерное проектирование и моделирование биомеханических систем.	Био- и нано механики	Нет	Вносить изменения в содержание программы не требуется (протокол № 10 от 25.05.2023 г.)
Биомеханическое моделирование состояния и разрушения костной ткани.	Био- и нано механики	Нет	Вносить изменения в содержание программы не требуется (протокол № 10 от 25.05.2023 г.)

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

на ____ / ____ учебный год

№п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № ____ от _____ 202 г.)

Заведующий кафедрой

Д.ф.-м.н., профессор
(степень, звание)

_____ (подпись)

Г.И. Михасев
(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

Д.ф.-м.н., профессор
(степень, звание)

_____ (подпись)

С.М.Босяков
(И.О.Фамилия)