

1.1.10. БИОМЕХАНИКА И БИОИНЖЕНЕРИЯ

(физико-математические, биологические и технические науки)

Введение

В основу настоящей программы положены лекционные курсы по биомеханике, а также элементы общей биологии и физиологии человека и животных.

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по математике и механике при участии НИИ механики Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова.

1. Механика клетки

Строение живой клетки. Мембрана как двумерный континуум. Реологические свойства мембраны. Пассивный и активный массоперенос через мембрану. Механочувствительность клеток. Электрический потенциал мембраны, возбуждение и распространение электрического импульса по мембране. Модель мембранного тока. Модели, описывающие функционирование ионных каналов.

Подвижность клеток и одноклеточных организмов. Реологические свойства цитоплазмы и модели ее подвижности. Движение ресничек и жгутиков. Движение при делении клетки.

2. Биологические жидкости

Состав и реологические свойства крови. Псевдотурбулентность в потоке крови; механизмы и модели агрегации и перераспределения клеток крови в потоке. Экспериментальные методы изучения агрегации клеток, механической травмы и свертывания крови.

Состав, реологические свойства и модели растворов биополимеров (суставная жидкость, слизистые жидкости).

3. Мягкие ткани

Строение и реологические свойства стенок кровеносных сосудов, кожи, сухожилий, хряща, паренхимы легкого, тканей глаза. Модели сплошной среды, используемые для описания механических свойств мягких тканей. Модель Фанга.

4. Мышцы

Микроструктура, строение и реологические свойства мышц; поперечно-полосатые и гладкие мышцы. Управление мышечным сокращением. Основные уравнения модели мышечной ткани и их использование при обработке результатов экспериментов; уравнение Хилла. Понятие о кинетической теории мышечного сокращения; особенности летательных мышц насекомых.

5. Твердые ткани

Строение, реологические и электромеханические свойства костной ткани; строение и свойства тканей зубов. Адаптационные свойства кости.

6. Математические модели биологических сплошных сред

Континуальные модели клеточной мембраны, крови, мягких тканей, костной ткани. Континуальные и кинетические модели мышечной ткани.

ПРОГРАММА-МИНИМУМ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ

7. Сердечно-сосудистая система

Общая характеристика механических явлений в сердечно-сосудистой системе. Механика сердца. Подходы к моделированию течения крови в ветвящемся русле.

Движение крови в сосудах. Постановки задач о пульсирующем течении крови в прямых жестких и деформируемых сосудах. Понятие о начальном участке. Теория пульсовой волны; нелинейные эффекты. Измерение артериального давления методом Короткова. Основные эффекты при движении крови в сосудах со сложной геометрией. Движение крови в венах и в сосудах малого круга.

Понятие о сосудистом тоне; ауторегуляция и эффект Бейлиса, реакция сосудистой стенки на сдвиговые напряжения. Распределение эритроцитов в малых сосудах. Движение крови в кровеносных капиллярах: деформации эритроцитов, модель Лайтхилла.

Массообмен между кровью и окружающими тканями; модель Крога. Осмотические явления; формула Старлинга. Постановки задач о массообмене в тканях и органах (легкие, почка). Нульмерные модели. Уравнение теплообмена в тканях, его приложения в практических задачах.

8. Дыхательная система

Общая характеристика механических явлений в дыхательных органах человека и млекопитающих. Простейшие математические модели в механике дыхания. Понятие о механике речеобразования.

9. Пищеварительный тракт и выделительная система

Строение и механические свойства органов пищеварения. Перистальтический механизм транспорта и перемешивания. Постановка общей задачи; решение в длинноволновом приближении. Эффекты рефлюкса и захвата. Мочевыделительная система.

10. Сенсорные системы

Биомеханика глаза. Механические процессы в органах слуха и вестибулярном аппарате. Проприоцепция. Математическая постановка задачи о распространении волн в улитке. Модель функционирования вестибулярных сенсоров.

11. Рост и морфогенез

Объемный и поверхностный рост тканей, морфогенез. Клеточные механизмы. Влияние механических и химических регуляторов. Принципы построения моделей растущих тканей и органов. Модели типа Тьюринга. Кинетика клеточного деления, массоперенос и рост в опухолевых тканях. Математические модели образования зоны некроза в опухоли. Общие представления о росте растений.

12. Двигательный аппарат

Общие представления о локомоциях. Принципы организации движений. Синергии. Двигательная единица. Гидродинамические подходы к изучению полета и плавания животных. Движения человека. Моделирование тела человека многозвенным механизмом с активными усилиями в сочленениях. Основные применения моделей. Постановка задач об импульсных и вибрационных воздействиях на человека. Трение и смазка в суставах. Понятие об эргономике и инженерной психологии.

13. Нервная система и управление движением

Строение нервной системы. Регуляция движений. Многоуровневое управление движением человека. Модель равновесной точки.

ПРОГРАММА-МИНИМУМ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ

14. Коллективные явления

Движение совокупностей взаимодействующих организмов. Случайные блуждания и хемотаксис у одноклеточных. Целенаправленные коллективные движения; теории транспортных потоков.

15. Искусственные органы и системы

Искусственные клетки и мембраны, липосомы. Требования к заменителям биологических тканей; протезирование опорно-двигательного аппарата.

Протезы кровеносных сосудов и сердечных клапанов, искусственное сердце. Аппараты искусственного дыхания, другие искусственные массообменные системы.

Основная литература

1. Бранков Г. Основы биомеханики. М.: Мир, 1981.
2. Волькенштейн М.В. Общая биофизика. М.: Наука, 1978.
3. Гидродинамика кровообращения. М.: Мир, 1971.
4. Гурфинкель В.С., Левик Ю.С. Скелетная мышца: структура и функция. М.: Наука, 1985.
5. Джеффрин М., Шапиро А. Механика // Сб. переводов иностр. статей. 1972. № 5. С. 88–108.
6. Дьяченко А.И., Шабельников В.Г. Математические модели действия гравитации на функции легких. М.: Наука, 1985.
7. Итоги науки и техники. Комплексные и специальные разделы механики. Т. I. М.: ВИНТИ. 1985.
8. Механика кровообращения / К.Каро, Т.Педли, Р.Шротер, У.Сид. М.: Мир. 1981.
9. Лайтфут Э. Явления переноса в живых системах. М.: Мир, 1977.
10. Педли Т. Гидродинамика крупных кровеносных сосудов. М.: Мир, 1983.
11. Регирер С.А., Руткевич И.М., Усик П.И. Механика полимеров. 1975. № 4. С. 585–589.
12. Регирер С.А. Лекции по биологической механике. Ч. 1. М.: Изд-во МГУ. 1980.
13. Современные проблемы биомеханики. Т. 1–6. Рига; т. 7. Н.Новгород; Т. 8–11. М., 1983—2006.
14. Шупляков В.С. Анализ сигналов на периферии слуховой системы. Л.. 1981. с. 5–35.
15. Ивенс И., Скейлак Р. Механика и термодинамика биологических мембран. М.: Мир, 1982.
16. Бегун П.И., Шукейло Ю.А. Биомеханика. СПб: Политехника, 2000.
17. Latash M.L. and Zatsiorsky V.M. Biomechanics and motor control. Defining central concepts. L.: Elsevier, 2016.
18. Лайтхилл Дж. Математическая биогиродинамика. Пер. с англ. Т.В.Рамодановой под ред. К.В.Кошеля. М., Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2014.

Дополнительная литература

1. Молекулярная биология клетки. Т. 1–3 / Б.Албертс, Д.Брей, Д.Льюис и др. М.: Мир, 1994.
2. Александер Р. Биомеханика. М.: Мир, 1970.
3. Математические задачи динамической имитации аэрокосмических полетов / В.В.Александров, Л.И.Воронин, Ю.Н.Глазков и др. М.: Изд-во МГУ. 1995.
4. Беленький В.Е., Куропаткин Г.В. Диалог травматолога с биомехаником. М.: Солид, 1996.
5. Березовский В.А., Колотилов Н.Н. Биофизические характеристики тканей человека. Справочник. Киев: Наукова думка, 1990.
6. Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М.: Медицина, 1966.
7. Биомеханика: проблемы и исследования. Рига: Зинатне, 1988.
8. Богданов К.Ю. Физик в гостях у биолога. М.: Наука, 1986.
9. Глазер Р. Очерк основ биомеханики. М.: Мир, 1988.

ПРОГРАММА-МИНИМУМ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ

10. Егоров В.А., Регирер С.А., Шадрин Н.Х. Течение крови в микрососудистой сети мышцы при регуляторных реакциях: квазистационарные задачи // Изв. АН. Механика жидкости и газа. 1993. № 1. С. 137—145.
11. Марри Д. Нелинейные дифференциальные уравнения в биологии: Лекции о моделях. М.: Мир, 1983.
12. Образцов И.Ф., Ханин М.А. Оптимальные биомеханические системы. М.: Медицина, 1989.
13. Проблемы прочности в биомеханике. М.: Высшая школа, 1988.
14. Регирер С.А. Квазиодномерная теория перистальтических течений // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1984. № 5. С. 89—97.
15. Романовский Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С. Математическая биофизика. М.: Наука, 1984.
16. Физиология человека. Т. 1—4. М.: Мир, 1985—1986.
17. Шмидт-Ниельсен К. Физиология животных. Приспособление и среда. Кн. 1,2. М.: Мир, 1982.
18. Шмидт-Нильсен К. Размеры животных: почему они так важны. М.: Мир, 1987.
19. Александров В.В., Александрова Т.Б., Вега Р. и др. Математическое моделирование информационного процесса в биосенсоре углового ускорения // Фундаментальная и прикладная математика. 2018. Т. 22. № 2. С. 3—18.
20. Садовничий В.А., Акаев А.А., Горячева И.Г. и др. Применение методов механики контактных взаимодействий при диагностике патологических состояний мягких биологических тканей. М.: Изд-во Московского университета, 2009.

Примечания. 1. Общим для всех отраслей науки, по которым присуждаются ученые степени по специальности 01.02.08 «Биомеханика» являются: а) знание экзаменуемым основных фактов, касающихся строения и функционирования биологических объектов — от клетки до целостного организма; б) понимание того, каким механическим законам и в какой конкретно форме подчинен тот или иной механический процесс в живой системе.

2. Для физико-математических наук достаточно общих представлений об экспериментальных методах изучения свойств и функционирования биологических систем, о протезах и заменителях, о диагностических и иных практических приложениях биомеханики. Напротив, серьезное внимание должно быть уделено математическим моделям свойств биологических объектов. Для технических наук достаточно лишь общих сведений о моделях, но важны методы экспериментов и прикладные вопросы (применительно к человеку).