

Федеральное агентство научных организаций
Российская академия наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Институт машиноведения имени А.А. Благонравова РАН»
(ИМАШ РАН)

Одобрено на Учёном совете
ИМАШ РАН
Протокол № 4
«12» августа 20 15 г.

УТВЕРЖДАЮ
Временно исполняющий обязанности
директора ИМАШ РАН д.т.н., проф.
В.А. Глазунов
«19» августа 20 15 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«БИОМЕХАНИКА СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ»

Направление подготовки
01.06.01 – Математика и механика

Направленность (профиль) программы
01.02.06 «БИОМЕХАНИКА»

Квалификация
Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения

Очная
Заочная

Москва

20 15

АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Биомеханика сосудистой системы» реализуется в рамках **Блока 1** Вариативной части обязательных дисциплин Основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН) аспирантам очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 01.06.01 – Математика и механика.

Рабочая программа разработана с учётом требований ФГОС ВО по направлению подготовки 01.06.01 – Математика и механика (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 года № 866, зарегистрировано в Минюсте Российской Федерации 25 августа 2014 года № 33837.

Общая трудоёмкость дисциплины по учебному плану составляет 3 зач. ед. (108 часов), из них лекций – 24 часа, практических (семинарских) занятий – 0 часов, лабораторных занятий – 0 часов, самостоятельной работы – 84 часов. Дисциплина реализуется на 2-м курсе, в 4-м (весеннем) семестре, продолжительность обучения – 1 семестр.

Форма промежуточной аттестации по дисциплине: зачёт в 4-м семестре.

Текущая аттестация проводится не менее 2 раз в соответствии с заданиями и формами контроля, предусмотренными настоящей программой.

Промежуточная оценка знания осуществляется в период зачётно-экзаменационной сессии в форме зачёта.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины «Биомеханика сосудистой системы»:

Цель:

- изучение аспирантов математического моделирования крупных кровеносных сосудов.

Задачи:

- освоение классической теории течения вязкой несжимаемой жидкости;
- детальное изучение строения сердечно-сосудистой системы;
- решение основных задач, возникающих при математическом и биомеханическом моделировании сердечно-сосудистой системы в целом и её отдельных элементов.

2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Биомеханика сосудистой системы» направлен на формирование компетенций или отдельных их элементов в соответствии с ФГОС ВО 01.06.01 – Математика и механика:

а) универсальные (УК):

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1).

б) профессиональных (ПК):

- способность к интенсивной научно-исследовательской и научно-изыскательской деятельности в междисциплинарных коллективах (ПК-1);
- готовность создавать и исследовать новые математические модели реальных тел и конструкций (ПК-2);
- готовность к управлению и руководству научной работой коллективов (ПК-3).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- классическую теорию течения вязкой несжимаемой жидкости и её применение к задачам моделирования сосудистой системы человека;
- основные методы научно-исследовательской деятельности в области биомеханики;
- современные проблемы биомеханики;
- необходимые и достаточные условия для реализации поставленной задачи в рамках междисциплинарного подхода;
- основные математические модели и методы биомеханики;
- современные подходы к моделированию научно-педагогической деятельности в междисциплинарных коллективах.

Уметь:

- применять теорию упругости к задачам биомеханики;
- анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач биомеханики и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов;
- при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений;
- самостоятельно осуществлять поиск специализированной научной литературы по биомеханике и смежным наукам, а также выбирать наиболее эффективные методы и способы решения поставленной биомеханической задачи;
- в соответствии с выбранными методами решения строить математическую модель

с алгоритмом её реализации;

- анализировать полученные результаты;
- сформулировать решаемую задачу;
- выбрать метод её решения и обосновать его применимость в данном случае;
- грамотно пользоваться научной терминологией;
- обосновывать правильность математических выкладок;

Владеть:

- навыками аналитического и численного решения задач биомеханики и представления полученных результатов в виде научной статьи, доклада и лекции;
- навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач биомеханики, в том числе в междисциплинарных областях;
- навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач биомеханики, в том числе в междисциплинарных областях;
- основными методами и подходами математического моделирования в биомеханике и при решении междисциплинарных задач.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Структура дисциплины

Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебных работ

Вид учебной работы	Трудоёмкость					
	общая		из них			
	зач.ед.	час.	Лекц.	Прак.	Сем.	Сам..
ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ по Учебному плану	3	108	24	0	0	84
Аудиторные занятия	0,65	24	24			
Лекции (Л)	0,65	24	24			
Практические занятия (ПЗ)	0	0		0		
Семинары (С)	0	0			0	
Самостоятельная работа (СР) в т.ч. с учётом промежуточного и итогового контроля	2,35	84				84
Самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к семинарским и практическим занятиям) и самостоятельное изучение тем дисциплины, подготовка к экзамену	2,35	84				84
Вид контроля:	зачёт					

3.2. Содержание разделов дисциплины

Общее содержание дисциплины

№ Раздела	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)
1.	Введение. Основные направления развития	Основные направления развития биомеханики в связи запросами медицинской практики.

	биомеханики	
2.	Классическая теория течения вязкой несжимаемой жидкости	<p>Опыт Ньютона по определению вязких свойств жидкости. Закон вязкого трения частного вида, обобщенный закон вязкого трения. Замкнутая система уравнений Навье-Стокса, описывающая течение вязкой несжимаемой жидкости. Основные виды граничных условий на границе текущей жидкости. Частные случаи точного решения уравнений Навье-Стокса:</p> <ul style="list-style-type: none"> • решение задач об установившемся течении вязкой несжимаемой жидкости в бесконечно длинной трубе произвольной формы поперечного сечения; • решение задачи для эллиптической и круглой трубы. Закон Пуазейля; • решение нестационарной задачи о пульсации вязкой несжимаемой жидкости в круглой трубе.
3.	Строение крови	<p>Понятие о неньютоновских вязких жидкостях. Вязкость жидкостей и суспензий. Осмотическое давление плазмы. Форменные элементы крови. Явление свертываемости крови. Тромбоз. Механические свойства крови как жидкости со сложной структурой.</p>
4.	Сердце и его функциональная деятельность	<p>Анатомия сердца. Сердечный цикл. Свойство миокарда. Механическое поведение сердца как целого органа. Гидродинамические особенности деятельности сердца. Физические методы исследования работы сердца. Электрофизиологические процессы в миокарде. Теоретические основы электрокардиографии. Электрокардиографическая аппаратура. Отведения ЭКГ. Условия регистрации ЭКГ. Характеристики электрокардиограммы.</p>
5.	Артерии большого круга	<p>Анатомия и гистология сосудов большого круга. Давление и кровотоки в артериях большого круга. Распространение пульсовых волн. Отражение и прохождение волн в местах бифуркации сосудов. Влияние нелинейности и вязкости на волновой процесс в сосудах. Картины течения крови в артериях. Смешивание и массоперенос в артериях.</p>
6.	Микрососуды большого круга	<p>Строение и организация русла микрососудов. Механические свойства микрососудов. Давление в микрососудах и в межклеточном пространстве. Моделирование движения крови в микрососудах. Массоперенос в системе микрососудов.</p>
7.	Вены большого круга	<p>Анатомия и гистология вен. Трансмуральное давление и упругие свойства венозных стенок. Динамика кровотока в крупных венах. Течение в гибких трубках с учетом их спадения. Механика венозного русла.</p>
8.	Сосудистая система малого круга кровообращения	<p>Анатомия и гистология сосудов малого круга. Трансмуральное давление и упругие свойства стенок сосудов. Сопrotивление сосудов малого круга.</p>

3.3 Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу				
		Лекции	Практич. (семинар) задания	Лаборат. работы	Задания, курсовые работы	Самост. работа
1	Введение. Основные направления развития биомеханики	3	0	0	0	6
2	Классическая теория течения вязкой несжимаемой жидкости	2	0	0	0	12
3	Строение крови	2	0	0	0	14
4	Сердце и его функциональная деятельность	6	0	0	0	22
5	Артерии большого круга	4	0	0	0	10
6	Микрососуды большого круга	3	0	0	0	6
7	Вены большого круга	3	0	0	0	8
8	Сосудистая система малого круга кровообращения	1	0	0	0	6
Итого часов		24	0	0	0	84
Общая трудоёмкость		108 час. 3 зач. ед.				

4. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиа проектором и экраном.

На лекционных занятиях демонстрируются презентации с помощью мультимедийных технологий.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. Герман И.П. Физика организма человека [Текст] / И.П. Герман; пер. с англ. Мелькумянца А.М., Ревенко С.В.. – Долгопрудный: Интеллект, 2011. – 991, [1] с.: рис. – Библиогр. С. 976-991.

Дополнительная литература

1. Бегун П. И. Моделирование в биомеханике [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. дипломированных специалистов «Биомедицинская техника» и направлению подгот. бакалавров и магистров «Биомедицинская инженерия» / П. И. Бегун, П. Н. Афонин. - М.: Высш. шк., 2004. – 389, [3] с.: рис.

2. Каро К., Педли Т., Шротер Р., Сид У. Механика кровообращения, М.: Изд-во Мир, 1981. – 624 с.

3. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Часть 2, Физматгиз, Москва, 1963.

4. Педли Т. Гидромеханика крупных сосудов, М.: Мир, 1983. – 400 с.

6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Для успешного освоения курса, помимо посещения лекций и семинаров, от аспирантов требуется самостоятельная работа в объёме не менее чем те часы, которые указаны для каждого раздела программы. В основном, это время отводится на самостоятельное решение задач. Самостоятельные занятия включают в себя также повторение материала лекций.

Федеральное агентство научных организаций
Российская академия наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Институт машиноведения имени А.А. Благонравова РАН»
(ИМАШ РАН)

Одобрено на Учёном совете
ИМАШ РАН
Протокол № 4
«12» августа 20 15 г.

УТВЕРЖДАЮ
Временно исполняющий обязанности
директора ИМАШ РАН д.т.н., проф.
В.А. Глазунов
«19» августа 20 15 г.



ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ
К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ
«БИОМЕХАНИКА СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ»

Направление подготовки
01.06.01 – Математика и механика

Направленность (профиль) программы
01.02.08 «БИОМЕХАНИКА»

Квалификация
Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения

Очная
Заочная

Москва

20 15

ПЕРЕЧЕНЬ КОМПЕТЕНЦИЙ И ЭТАПЫ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

В ПРОЦЕССЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины направлено на формирование у обучающегося следующих универсальных (УК), (общекультурных (ОК), общепрофессиональных (ОПК) и профессиональных (ПК) компетенций:

УК-1: *способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;*

ПК-1: *способность к интенсивной научно-исследовательской и научно-изыскательской деятельности в междисциплинарных коллективах;*

ПК-2: *готовность создавать и исследовать новые математические модели реальных тел и конструкций;*

ПК-3: *готовность к управлению и руководству научной работой коллективов.*

Этапы формирования компетенций в процессе изучения дисциплины.

Конечными результатами освоения программы освоения дисциплины являются сформированные когнитивные дескрипторы «знать», «уметь», «владеть», расписанные по отдельным компетенциям. Формирование этих дескрипторов происходит в течение всего семестра по этапам в рамках различного вида занятий и самостоятельной работы.

В результате изучения дисциплины «Биомеханика сосудистой системы» обучающийся должен:

Знать:

- классическую теорию течения вязкой несжимаемой жидкости и её применение к задачам моделирования сосудистой системы человека;
- основные методы научно-исследовательской деятельности в области биомеханики;
- современные проблемы биомеханики;
- необходимые и достаточные условия для реализации поставленной задачи в рамках междисциплинарного подхода;
- основные математические модели и методы биомеханики;
- современные подходы к моделированию научно-педагогической деятельности в междисциплинарных коллективах;

Уметь:

- применять теорию упругости к задачам биомеханики;
- анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач биомеханики и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов;
- при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений;
- самостоятельно осуществлять поиск специализированной научной литературы по биомеханике и смежным наукам, а также выбирать наиболее эффективные методы и способы решения поставленной биомеханической задачи;
- в соответствии с выбранными методами решения строить математическую модель с алгоритмом её реализации;
- анализировать полученные результаты;
- сформулировать решаемую задачу;
- выбрать метод её решения и обосновать его применимость в данном случае;
- грамотно пользоваться научной терминологией;
- обосновывать правильность математических выкладок;

Владеть:

- навыками аналитического и численного решения задач биомеханики и представления полученных результатов в виде научной статьи, доклада и лекции;
- навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач биомеханики, в том числе в междисциплинарных областях;
- навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач биомеханики, в том числе в междисциплинарных областях;
- основными методами и подходами математического моделирования в биомеханике и при решении междисциплинарных задач.

1. ТЕКУЩАЯ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Текущая аттестация аспирантов.

Текущая аттестация аспирантов проводится в соответствии с локальным актом ИМАШ РАН – Положением о текущей, промежуточной и итоговой аттестации аспирантов ИМАШ РАН по программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме опроса, а также оценки вопроса-ответа в рамках участия обучающихся в обсуждениях и различных контрольных мероприятиях по оцениванию фактических результатов обучения, осуществляемых преподавателем, ведущим дисциплину.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина – активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость занятий;
- степень усвоения теоретических знаний и уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы, проводимых в рамках семинаров и самостоятельной работы.

Оценивание обучающегося на занятиях осуществляется с использованием нормативных оценок по 4-х бальной системе (5 – отлично, 4 – хорошо, 3 – удовлетворительно, 2 – неудовлетворительно).

Промежуточная аттестация аспирантов.

Промежуточная аттестация аспирантов по дисциплине проводится в форме *зачёта* в соответствии с локальным актом ИМАШ РАН – Положением о текущей, промежуточной и итоговой аттестации аспирантов ИМАШ РАН по программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре и является обязательной.

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется в форме *зачёта* в период зачётно-экзаменационной сессии в соответствии с Графиком учебного процесса по приказу (распоряжению заместителю директора по научной работе). Обучающийся допускается к экзамену в случае выполнения аспирантом всех учебных заданий и мероприятий, предусмотренных настоящей программой. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий) аспирант обрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

Оценивание обучающегося на промежуточной аттестации осуществляется с использованием нормативных оценок на зачете – *зачтено / не зачтено*.

Оценивание аспиранта на промежуточной аттестации в форме зачёта

Оценка зачета (нормативная)	Требования к знаниям и критерии выставления оценок
<i>Зачтено</i>	Аспирант при ответе демонстрирует содержание тем учебной дисциплины, владеет основными понятиями, знает особенности развития методологии научного исследования, имеет представление об особенностях и специфике научного исследования. Информирован и способен делать анализ проблем и намечать пути их решения.
<i>Не зачтено</i>	Аспирант при ответе демонстрирует плохое знание значительной части основного материала в области методологии научного исследования. Не информирован или слабо разбирается в проблемах, и или не в состоянии наметить пути их решения.

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Форма контроля знаний	Вид аттестации	Примечание
Опрос, Дискуссия	Текущая	Подготовка и ответ на семинарском занятии по заданным вопросам. Обсуждение проблематики предмета.
Домашнее задание: проверочные работы	Текущая	Домашнее задание: Оформление библиографического списка по теме диссертационного исследования
Зачёт	Промежуточная	Подготовка зачётного задания: Оформление статьи (по образцу статьи из списка ВАК по специальности) и реферата (по образцу автореферата диссертации) по тематике диссертационного исследования или на предложенную преподавателем тему

3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Самостоятельная работа аспирантов (СРА) включает следующие виды работ: изучение теоретического (лекционного) материала, самостоятельные исследования и изучение теоретического материала по решению различных задач исследования операций, решение задач и упражнения, подготовка докладов для практических занятий, подготовка к дискуссиям по темам практических занятий.

Вопросы для углубленного самостоятельного изучения

1. Численное моделирование элементов сердечно-сосудистой системы.
2. Касательные напряжения на стенке и эффективные напряжения в стенке сосуда как факторы возникновения атеросклероза.
3. Механические факторы, вызывающие рост и разрыв аневризм сосудов головного мозга.
4. Механические модели сосудистой стенки.
5. Пациенториентированное моделирование в биомеханике сердечно-сосудистой системы.
6. Методы построения трехмерных геометрических моделей сосудов человека.
7. Обработка изображений компьютерных и магнитно-резонансных томограмм с целью построения геометрических моделей элементов сердечно-сосудистой системы человека.

ФОС: оценочные средства текущего и промежуточного контроля

Задания для текущего контроля.

Вопросы для устных опросов

1. Основные направления развития биомеханики в РФ и в мире.
2. Связь биомеханики с практической медициной. Методы биомеханики сосудистой системы. Моделирование в биомеханике. Численные расчёты применительно к биологическим объектам.
3. Понятие и вязкости, реологические законы. Закон Ньютона. Постановка и решение задачи о стационарном течении вязкой несжимаемой жидкости в бесконечно длинной трубе произвольного поперечного сечения.
4. Свойства сердца, анатомия, сердечный цикл.
5. Атеросклероз, атерогенез, механические факторы в развития атеросклероза.
6. Сосуды большого и малого кругов кровообращения. Картины течения крови в здоровых и патологических сосудах.
7. Микрососуды, принципы течения крови в микрососудах.
8. Вены, трансмуральное давление, биомеханика венозного русла.
9. Способы обработки медицинских диагностических изображений, построение точные пациенто-ориентированных моделей сосудов и сердца.
10. Механические модели в биомеханике применительно к механике сосудистой стенки.

Критерии оценки:

«зачтено»	Аспирант свободно владеет навыками анализа основных проблем, возникающих в современном научном мире. Отлично знает современные проблемы биомеханики; необходимые и достаточные условия для реализации поставленной задачи в рамках междисциплинарного подхода. На поставленные вопросы дает развернутый, четкий ответ, приводит примеры. Грамотно использует научную терминологию.
«не зачтено»	Аспирант не владеет навыками анализа основных проблем, возникающих в современном научном мире. Не знает современные проблемы биомеханики; необходимые и достаточные условия для реализации поставленной задачи в рамках междисциплинарного подхода. На поставленные вопросы не дает развернутый, четкий ответ, не приводит примеры. Неграмотно использует научную терминологию.

Задания для промежуточной аттестации

Контрольные вопросы к зачету

1. Основные направления развития биомеханики в связи запросами медицинской практики.
2. Опыт Ньютона по определению вязких свойств жидкости. Закон вязкого трения частного вида. Обобщенный закон вязкого трения. Замкнутая система уравнений Навье-Стокса, описывающая течение вязкой несжимаемой жидкости. Основные виды граничных условий на границе текущей жидкости. Частные случаи точного решения уравнений Навье-Стокса: Решение задач об установившемся течении вязкой несжимаемой жидкости в бесконечно длинной трубе произвольной формы поперечного сечения; Решение задачи для эллиптической и круглой трубы. Закон Пуазейля; Решение нестационарной задачи о пульсации вязкой несжимаемой жидкости в круглой трубе.
3. Понятие о неньютоновских вязких жидкостях. Вязкость жидкостей и суспензий. Осмотическое давление плазмы. Форменные элементы крови. Явление свертываемости крови. Тромбоз. Механические свойства крови как жидкости со сложной структурой.
4. Анатомия сердца. Сердечный цикл. Свойство миокарда. Механическое поведение

сердца как целого органа. Гидродинамические особенности деятельности сердца. Физические методы исследования работы сердца. Электрофизиологические процессы в миокарде. Теоретические основы электрокардиографии. Электрокардиографическая аппаратура. Отведения ЭКГ. Условия регистрации ЭКГ. Характеристики электрокардиограммы.

5. Анатомия и гистология сосудов большого круга. Давление и кровоток в артериях большого круга. Распространение пульсовых волн. Отражение и прохождение волн в местах бифуркации сосудов. Влияние нелинейности и вязкости на волновой процесс в сосудах. Картины течения крови в артериях. Смешивание и массоперенос в артериях.

6. Строение и организация русла микрососудов. Механические свойства микрососудов. Давление в микрососудах и в межклеточном пространстве. Моделирование движения крови в микрососудах. Массоперенос в системе микрососудов.

7. Анатомия и гистология вен. Трансмуральное давление и упругие свойства венозных стенок. Динамика кровотока в крупных венах. Течение в гибких трубках с учётом их спадения. Механика венозного русла.

8. Анатомия и гистология сосудов малого круга. Трансмуральное давление и упругие свойства стенок сосудов. Сопротивление сосудов малого круга.

Критерии оценки:

«зачтено»	Аспирант отлично умеет самостоятельно осуществлять поиск специализированной научной литературы, выбирать наиболее эффективные методы и способы решения поставленной задачи; в соответствии с выбранными методами решения строить математическую модель с алгоритмом её реализации; анализировать полученные результаты. Отлично умеет сформулировать решаемую задачу; выбрать метод её решения и обосновать его применимость в данном случае. Аргументирует собственную позицию или точку зрения, обозначает наиболее значимые в данной области научно-исследовательские проблемы; отвечает без затруднений на все дополнительные вопросы.
«не зачтено»	Аспирант не умеет самостоятельно осуществлять поиск специализированной научной литературы, выбирать наиболее эффективные методы и способы решения поставленной задачи; в соответствии с выбранными методами решения строить математическую модель с алгоритмом её реализации; анализировать полученные результаты. Не умеет сформулировать решаемую задачу; выбрать метод её решения и обосновать его применимость в данном случае. Не может аргументировать собственную позицию или точку зрения, не обозначает наиболее значимые в данной области научно-исследовательские проблемы; не отвечает на все дополнительные вопросы.