

Макаров Л.М.

Биофизические ОСНОВЫ ЖИВЫХ СИСТЕМ



Хаотическое
состояние

Состояние
динамического
равновесия

Статическое
состояние

Среда обитания



*Лабораторный
практикум*



Лабораторная работа 1

Оценка слуха

Теоретическая часть

Звук представляет собой механические колебания частотой от 16Гц до 20кГц, которые распространяются в упругой среде. Источником звука может быть тело, колеблется в указанном диапазоне звуковых частот (камертон, струна). Звуки делятся на тоны, шумы и звуковые удары. Различают простые и сложные тона. Простой тон - звуковое колебание, которое происходит по гармоническому закону. Если тон представляет собой не гармоническое колебание, то он называется сложным. Простой тон дает камертон, сложный - музыкальный инструмент, голосовой аппарат человека. Сложный тон, по теореме Фурье, может быть разложен на простые, при этом тон наименьшей частоты называется основным, а другие - обертонами. Основными физическими (объективными) характеристиками звука являются:

Интенсивность звука - это величина энергии, которую в среднем переносит звуковая волна за единицу времени через единицу площади поверхности перпендикулярной к направлению распространения волны:

$$I = \frac{1}{2} \rho v \omega^2 A^2 \quad (1)$$

где ρ – плотность среды, v - скорость распространения волны, ω - циклическая частота, A – амплитуда волны. Как видно из формулы (1), энергия и интенсивность волны прямо пропорциональны квадрату ее амплитуды.

Звуковое давление - это эффективное значение избыточного над атмосферным давлением, которое образуется в местах сгущения частиц воздуха в звуковой волне. Интенсивность звука I равна квадрату амплитуды звукового давления деленного на Z , и определяется по формуле:

$$I = \frac{P^2}{2\rho v} \quad (2)$$

Где Z - акустическое сопротивление (импеданс), P - звуковое давление.

Акустический гармоничный спектр - это результат разложения сложного колебания (тона) на простые тона (гармоники), его составляющих, с указанием их частоты и амплитуды (интенсивности). С физическими (объективными) характеристиками звука тесно связаны физиологические (субъективные) характеристики звука. Эта связь иллюстрируется схемой приведенной на рис.1

При клинических исследованиях измеряют порог слухового ощущения I_0 , под которым понимают интенсивность звука данной частоты, которая еще воспринимается ухом (или минимальный звуковое давление). Нормальное человеческое ухо воспринимает достаточно широкий диапазон интенсивностей звука.

Так на частоте 1000 Гц от $I = 10^{-12}$ Вт/м² (порог слухового ощущения) к $I = 10$ Вт/м² (порог болевого ощущения). Отношение этих интенсивностей равно 10^{13} , поэтому для удобства вводят шкалу уровня интенсивности. Шкала уровня интенсивностей звука создается следую-

щим образом: значение I_0 принимается за исходный уровень шкалы, любую другую интенсивность выражают через десятичный логарифм ее отношение к I_0 :

$$L = \lg \frac{I}{I_0} \quad (3)$$

За единицу уровня интенсивности принято 1Бел (Б), которая соответствует изменению интенсивности в 10 раз, а также 1 дециБел (дБ) = 0,1 Б

$$L = \lg \frac{I}{I_0} = 10 \lg \frac{I}{I_0} (\text{дБ}) \quad (4)$$

Для физиологической оценки громкости вводят шкалу громкости LE. При постоянной частоте звука громкость связана с уровнем интенсивности законом Вебера-Фехнера, согласно которому уровень громкости на данной частоте пропорционален уровню интенсивности:

$$L_F = k \lg \frac{I}{I_0} \quad (5)$$

то есть, если интенсивность звука изменяться в геометрической прогрессии (т.е. в одинаковое число раз), то уровень громкости будет меняться в арифметической прогрессии (т.е. на одинаковую величину) k - коэффициент пропорциональности, который зависит от частоты и интенсивности. Относительно звука это означает, что если интенсивность звука принимает ряд последовательных значений, например aI, a^2I, a^3I (a - некоторый коэффициент, $a > 1$), то относительное ощущение громкости будет $E_0, 2E_0, 3E_0$ и т.д. Если коэффициент $k = \text{const}$, то шкала интенсивностей отвечает шкале громкости.

Считают, что на частоте 1000 Гц шкалы громкости и уровня интенсивности звука совпадают. В этом случае имеем ($k = 1$) на этой частоте децибел шкалы уровня интенсивности будет отвечать децибелам шкалы громкости. Для отличия шкалы интенсивности от шкалы громкости децибел называют фоном.

Звук является источником информации о состоянии внутренних органов человека. Работа сердца, легких и других органов сопровождается звуковыми явлениями. Зная, какими должны быть эти звуки при нормальном функционировании органов и тканей, можно определить характер заболевания или повреждения органа при той или иной патологии.

Прослушивание и анализ тонов и шумов, возникающих при функционировании внутренних органов, называется аускультацией. Для прослушивания звуков используют фонендоскоп. Его действие основано на резонансном усилении звука. Резонансные полости дают характерные (с малым затуханием) звуковые колебания и по-разному проводят звуки, используемый в другом методе звукового исследования - *перкуссии*.

Перкуссия - это анализ перкуторных звуков, возникающих при постукивании молоточком по плессиметр или кончиком согнутого пальца одной руки по фаланге пальца второй руки, приложенной к определенному участку тела больного. При постукивании резонируют полости внутри организма, по-разному реагируют на стук молоточка или пальца мягкие, упругие, твердые и полые органы. При ударе по упругих тканях или тканях, окружающих полости тела, заполненные возду-

хом, внутренний звук усиливается и становится звонким (тимпанический). Если брюшная полость содержит много жидкости (водянка), перкуторный звук будет коротким и глухим.

Хорошо резонируют полости тела, заполненные воздухом, кости и эластичные перепонки (ясный звук).

Для диагностики сердечных заболеваний используют метод фонокардиографии (ФКГ) основан на регистрации и анализе звуков, возникающих при сокращении и расслаблении сердца. Фонокардиография объективно отражает и уточняет результаты амплитудного и частотного анализа звуков, измерения их длительности и интервалов между ними.

Для фонокардиографии используют специальные приборы - фонокардиограф или фонокардиографическое приставки, основными элементами конструкции которых есть микрофон, преобразующий звуковые колебания в электрические; частотные фильтры, соединенные с усилителями сигналов, поступающих от микрофона; регистрирующее устройство и обеспечивает запись колебаний до 1000 Гц при скорости регистрации 50 и 100 мм / с .

Использование различных типов микрофонов (линейного, стетоскопического, логарифмического) и полосовых фильтров позволяет для выделения диагностически значимых звуковых феноменов регистрировать звуковые колебания как в практически полном и аускультующему, так и в специально выбранном диапазоне частот.

Потерю слуха исследуют методом аудиометрии. С этой целью определяют порог слышимости для различных тонов на специальном приборе - аудиометре. Полученная кривая называется аудиограммой. Сравнение аудиограммы больного и здорового человека позволяет диагностировать заболевания органов слуха.

Задание

Интенсивность звука некоторого источника принимает ряд последовательных значений, таких что имеется ряд: $aI, a^2I, a^3I, \dots, a^{34}I$ (a - некоторый коэффициент, $a > 1$)

Провести расчет относительных ощущений громкости звука L_E , используя теоретическую часть.

Расчеты провести при значениях $a=1,15$; $a= 1,23$; $a= 1,34$

Построить графические иллюстрации. Сделать выводы.

Расчеты провести в среде EXCEL.

Лабораторная работа 2

Оценка действия ультразвука на водную среду

Теоретическая часть

Имеем ультразвуковой излучатель, помещенный в водную среду. Параметры излучателя

	Параметр	Значение
1.	Интенсивность излучения	10^{-5} Вт/м ²
2.	Частота излучения	10^5 Гц

Интенсивность действия звуковой волны определяется по выражению:

$$I = 0.5 \rho c A^2 \omega^2$$

Принимая во внимание что $\omega = 2\pi\nu$

где ρ - плотность среды (1 кг/м³), c - скорость распространения ультразвука в среде (1500 м/с), ω - циклическая частота излучателя, ν - частота сигнала излучения, A амплитуда смещения частиц в среде

Имеем

$$A = \sqrt{\frac{I}{(2c\rho\pi^2\nu^2)}} \quad \text{Проведя расчет получим: } 5,81 \text{ мкм}$$

Амплитудное значение ускорения частиц воды определим по выражению:

$$a_m = A\omega^2 = 4A\pi^2\nu^2 \quad \text{Проведя расчет получим } 2,4 * 10^5 \text{ м/с}^2$$

Полученное значение значительно превосходит значение ускорения свободного падения тел. Вычислим акустическое давление в среде, создаваемое ультразвуком

$$P_a = \rho c A \omega$$

Проведя расчет получим: $5,6 * 10^5$ Па или примерно 5,6 атм. Отметим, что при фокусированном пучке излучения можно добиться больших значений давления.

Задание

1. Провести расчеты, при следующих данных

	Параметр	Значение
1.	Интенсивность излучения	$2 * 10^5$ Вт /м ²
2.	Частота излучения	10^5 Гц

Вычислить параметры: A , a_m , P_a

2. Провести расчеты, при следующих данных

	Параметр	Значение
3.	Интенсивность излучения	$3 * 10^5$ Вт /м ²
4.	Частота излучения	10^5 Гц

Вычислить параметры: A , a_m , P_a

3. Провести расчеты, при следующих данных

	Параметр	Значение
5.	Интенсивность излучения	$4 * 10^5$ Вт /м ²
6.	Частота излучения	10^5 Гц

Вычислить параметры: A , a_m , P_a

4. Провести расчеты, при следующих данных

	Параметр	Значение
7.	Интенсивность излучения	$5 \cdot 10^{-5}$ Вт /м ²
8.	Частота излучения	10^{-5} Гц

Вычислить параметры: A , a_m , P_a

5. Провести расчеты, при следующих данных

	Параметр	Значение
9.	Интенсивность излучения	$1 \cdot 10^{-5}$ Вт /м ²
10.	Частота излучения	$2 \cdot 10^{-5}$ Гц

Вычислить параметры: A , a_m , P_a

6. Провести расчеты, при следующих данных

	Параметр	Значение
11.	Интенсивность излучения	$1 \cdot 10^{-5}$ Вт /м ²
12.	Частота излучения	$2,25 \cdot 10^{-5}$ Гц

Вычислить параметры: A , a_m , P_a

7. Провести расчеты, при следующих данных

	Параметр	Значение
13.	Интенсивность излучения	$1 \cdot 10^{-5}$ Вт /м ²
14.	Частота излучения	$2,5 \cdot 10^{-5}$ Гц

Вычислить параметры: A , a_m , P_a

8. Провести расчеты, при следующих данных

	Параметр	Значение
15.	Интенсивность излучения	$1 \cdot 10^{-5}$ Вт /м ²
16.	Частота излучения	$2,8 \cdot 10^{-5}$ Гц

Вычислить параметры: A , a_m , P_a

Построить графические иллюстрации. Сделать выводы.
Расчеты провести в среде EXCEL.

Лабораторная работа 3

Исследование электропроводности растворов

Теоретическая часть

Электропроводность растворов

Электрический ток есть упорядоченное перемещение заряженных частиц. Растворы электролитов обладают ионной проводимостью (являются т.н. проводниками второго рода), т.е. электропроводность растворов электролитов обусловлена перемещением ионов в электрическом поле (в отличие от электронной проводимости проводников первого рода).

Величина преимущественного передвижения иона в направлении одного из электродов при прохождении тока через раствор отнесённая к градиенту потенциала 1 В/см, есть абсолютная скорость движения иона. Абсолютные скорости движения ионов имеют величины порядка 0,0005 – 0,003 см/(В·с). Абсолютные скорости движения катионов U^+ и анионов U^- различаются; это приводит к тому, что ионы разных знаков переносят разные количества электричества.

Всякий проводник, по которому течет ток, представляет для него определенное сопротивление R , которое, согласно закону Ома, прямо пропорционально длине проводника l и обратно пропорционально площади сечения S ; коэффициентом пропорциональности является удельное сопротивление материала ρ – сопротивление проводника, имеющего длину 1 см и сечение 1 см²:

$$R = \frac{\rho l}{S} [\text{ом}]$$

В качестве количественной меры способности раствора электролита проводить электрический ток используют обычно удельную электропроводность k (каппа) – величину, обратную удельному сопротивлению (т.е. величину, обратную сопротивлению столба раствора между электродами площадью 1 см², находящимися на расстоянии 1 см):

$$k = \frac{1}{\rho} [\text{Ом}^{-1} \text{см}^{-1}]$$

Величина удельной электропроводности электролита зависит от ряда факторов: природы электролита, температуры, концентрации раствора. Удельная электропроводность растворов электролитов (в отличие от электропроводности проводников первого рода) с увеличением температуры возрастает, что вызвано увеличением скорости движения ионов за счет понижения вязкости раствора. Зависимость удельной электропроводности от концентрации раствора представлена на рис. 3.1.

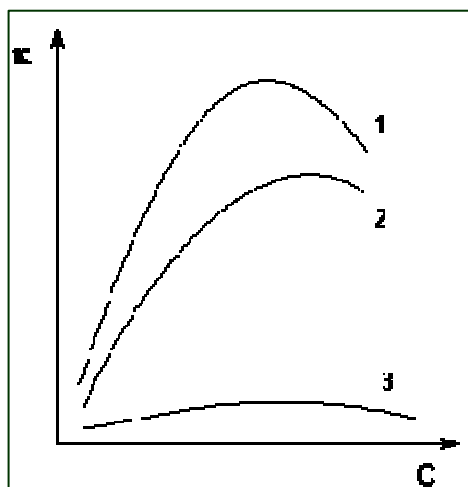


Рис. 3.1 Зависимость удельной электропроводности электролитов от концентрации (1 – H₂SO₄, 2 – KOH, 3 – CH₃COOH)

Как видно из рисунка, с увеличением концентрации удельная электропроводность растворов сначала возрастает, достигая некоторого максимального значения, затем начинает уменьшаться. Эта зависимость очень чётко выражена для сильных электролитов и значительно хуже для слабых. Наличие максимума на кривых объясняется тем, что в разбавленных растворах сильных электролитов скорость движения ионов мало зависит от концентрации, и к сначала растёт почти прямо пропорционально числу ионов; с ростом концентрации усиливается взаимодействие ионов, что уменьшает скорость их движения. Для слабых электролитов наличие максимума на кривой обусловлено тем, что с ростом концентрации уменьшается степень диссоциации, и при достижении определенной концентрации число ионов в растворе начинает увеличиваться медленнее, чем концентрация. Для учета влияния на электрическую проводимость растворов электролитов их концентрации и взаимодействия между ионами введено понятие молярной электропроводности раствора.

Задание

1. Подготовить кювету с водным раствором. Электроды и измерительный прибор.
2. Проверить работоспособность электрического мультиметра
3. Проверить работоспособность микровесов

Указание

4. Установить гибкие электроды в кювету. Налить лабораторной воды - 100 мл. Закрепить электроды.
5. Подсоединить измерительный прибор.
6. Провести серию измерений электропроводности с разным содержанием соли в водном растворе. Записать полученные результаты.

Исходные данные

Таблица 1

	Объект	Количество Соли (1) в кювете /Г/	Удельная электропроводность раствора
1.	Измерительная кювета с лабораторной водой	0,01	
2.	Измерительная кювета с лабораторной водой	0,015	
3.	Измерительная кювета с лабораторной водой	0,02	
4.	Измерительная кювета с лабораторной водой	0,025	

Таблица 2

	Объект	Количество Соли (1) в кювете /Г/	Удельная электропроводность раствора
5.	Измерительная кювета с лабораторной водой	0,1	
6.	Измерительная кювета с лабораторной водой	0,15	
7.	Измерительная кювета с лабораторной водой	0,2	
8.	Измерительная кювета с лабораторной водой	0,25	

Таблица 3

	Объект	Количество Соли (2) в кювете /Г/	Удельная электропроводность раствора
9.	Измерительная кювета с лабораторной водой	0,01	
10.	Измерительная кювета с лабораторной водой	0,015	
11.	Измерительная кювета с лабораторной водой	0,02	
12.	Измерительная кювета с лабораторной водой	0,025	

Таблица 4

	Объект	Количество Соли (2) в кювете /Г/	Удельная электропроводность раствора
13.	Измерительная кювета с лабораторной водой	0,1	
14.	Измерительная кювета с лабораторной водой	0,15	
15.	Измерительная кювета с лабораторной водой	0,2	
16.	Измерительная кювета с лабораторной водой	0,25	

7. Провести анализ полученных результатов измерения и создать иллюстративный материал

Для приблизительной оценки удельной электропроводности (УЭП) можно воспользоваться эмпирически найденным соотношением зависимости УЭП от содержания солей в воде (минерализация):

$$\text{УЭП (мкСм/см)} = \text{содержание солей (мг/л)} / 0,65$$

То есть, для определения УЭП (мкСм/см) показатель содержание солей (минерализацию воды) (мг/л) делят на поправочный коэффициент 0,65. Величина этого коэффициента колеблется в зависимости от типа вод в диапазоне 0,55-0,75. Растворы хлористого натрия проводят ток лучше: содержание NaCl (мг/л) = 0,53 мкСм/см или 1 мг/л NaCl обеспечивает электропроводность в 1,9 мкСм/см.

УЭП соленой воды (морская вода) принято выражать в См/м (См — Сименс, величина, обратная Ому), пресной воды — в микросименсах (мкСм/см). УЭП дистиллированной воды равна 2—5 мкСм/см, атмосферных осадков — от 6 до 30 мкСм/см и более, в районах с сильно загрязненной воздушной средой, речных и пресных озерных вод 20—800 мкСм/см.

Чистая вода в результате ее собственной диссоциации имеет удельную электрическую проводимость при 25 С равную 5,483 мкСм/м.

8. Сделать выводы по работе.

* Отчет подготовить используя текстовый процессор Word и среду для создания иллюстративного материала EXCEL

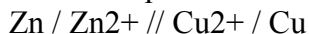
Лабораторная работа 4

Исследование органического гальванического элемента

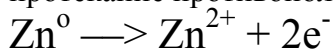
Теоретическая часть

Гальванический элемент. ЭДС гальванического элемента

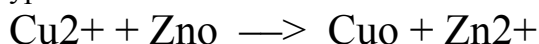
Рассмотрим простейший гальванический элемент Даниэля – Якоби, состоящий из двух полужелетов – цинковой и медной пластин, помещенных в растворы сульфатов цинка и меди соответственно, которые соединены между собой посредством электролитического ключа – например, полоски бумаги, смоченной раствором какого-либо электролита. Схематически данный элемент изображается следующим образом:



На поверхности каждого из электродов имеет место динамическое равновесие перехода ионов металла из электрода в раствор и обратно, характеризуемое потенциалом ДЭС (зарядом на электроде q). Если соединить медный и цинковый электроды металлическим проводником, немедленно произойдет перераспределение зарядов – электроны начнут перемещаться с электрода с более отрицательным зарядом (в нашем случае – цинкового) на электрод с более положительным зарядом (медный), т.е. в проводнике возникнет электрический ток. Изменение величины заряда каждого из электродов нарушает равновесие – на цинковом электроде начнется процесс перехода ионов из электрода в раствор (окисление металла), на медном – из раствора в электрод (восстановление металла); при этом протекание процесса на одном электроде обуславливает одновременное протекание противоположного процесса на другом:



Электрод, на котором при работе гальванического элемента протекает процесс окисления, называется анодом, электрод, на котором идет процесс восстановления – катодом. При схематическом изображении гальванических элементов слева записывают анод, справа – катод (стандартный водородный электрод всегда записывают слева). Суммарный окислительно-восстановительный процесс, происходящий в гальваническом элементе, выражается следующим уравнением:



Формально, гальванический элемент можно определить как прибор для преобразования химической энергии окислительно-восстановительной реакции в электрическую за счет пространственного разделения процессов окисления и восстановления. Работа, которую может совершить электрический ток, вырабатываемый гальваническим элементом, определяется разностью электрических потенциалов между электродами (называемой обычно просто разностью потенциалов) $\Delta\Phi$ и количеством прошедшего по цепи электричества q :

$$dA = \Delta\Phi \cdot dq$$

Работа тока гальванического элемента (и, следовательно, разность потенциалов), будет максимальна при его обратимой работе, когда процессы на электродах протекают бесконечно медленно и сила тока в цепи бесконечно мала. Максимальная разность потенциалов, возникающая при обратимой работе гальванического элемента, есть электродвижущая сила (ЭДС) гальванического элемента.

Задание

1. Подготовить влажный субстрат с водным солевым раствором. Медный и цинковый электроды, а также измерительный прибор - мультиметр
2. Проверить работоспособность электрического мультиметра
3. Проверить работоспособность микровесов

4. Указание
5. Закрепить гибкие электроды на жидком субстрате.
6. Подсоединить измерительный прибор к электродам
7. Провести серию измерений электропроводности с разным содержанием соли в субстрате. Записать полученные результаты.

Исходные данные

Таблица 1

	Объект	Количество Водного раствора помещаемого в субстрат /мл/	Удельная электропроводность раствора
1.	Влажный субстрат	0,01	
2.	Влажный субстрат	0,015	
3.	Влажный субстрат	0,02	
4.	Влажный субстрат	0,025	

Таблица 2

	Объект	Количество Соли (1) в кювете /Г/	Удельная электропроводность раствора
5.	Влажный субстрат	0,1	
6.	Влажный субстрат	0,15	
7.	Влажный субстрат	0,2	
8.	Влажный субстрат	0,25	

Таблица 3

	Объект	Количество Соли (2) в кювете /Г/	Удельная электропроводность раствора
9.	Влажный субстрат	0,01	
10.	Влажный субстрат	0,015	
11.	Влажный субстрат	0,02	
12.	Влажный субстрат	0,025	

Таблица 4

	Объект	Количество Соли (2) в кювете /Г/	Удельная электропроводность раствора
13.	Влажный субстрат	0,1	
14.	Влажный субстрат	0,15	
15.	Влажный субстрат	0,2	
16.	Влажный субстрат	0,25	

9. Провести анализ полученных результатов измерения и создать иллюстративный материал
10. Сделать выводы по работе.

* Отчет подготовить используя текстовый процессор Word и среду для создания иллюстративного материала EXCEL

Лабораторная работа 5

Исследование модели гемодинамики кровотока

Теоретическая часть

Различают несколько видов сосудов:

- Магистральные – наиболее крупные артерии, в которых ритмически пульсирующий кровоток превращается в более равномерный и плавный. Стенки этих сосудов содержат мало гладкомышечных элементов и много эластических волокон.
- Резистивные (сосуды сопротивления) – включают в себя прекапиллярные (мелкие артерии, артериолы) и посткапиллярные (венулы и мелкие вены) сосуды сопротивления. Соотношение между тонусом пре- и посткапиллярных сосудов определяет уровень гидростатического давления в капиллярах, величину фильтрационного давления и интенсивность обмена жидкости.
- Истинные капилляры (обменные сосуды) – важнейший отдел ССС. Через тонкие стенки капилляров происходит обмен между кровью и тканями.
- Емкостные сосуды – венозный отдел ССС. Они вмещают около 70-80% всей крови.
- Шунтирующие сосуды – артериовенозные анастомозы, обеспечивающие прямую связь между мелкими артериями и венами в обход капиллярного ложа.

Основной гемодинамический закон: количество крови, протекающей в единицу времени через кровеносную систему тем больше, чем больше разность давления в ее артериальном и венозном концах и чем меньше сопротивление току крови.

Сердце во время систолы выбрасывает в сосуды определенные порции крови. Во время диастолы кровь движется по сосудам за счет потенциальной энергии. Ударный объем сердца растягивает эластические и мышечные элементы стенки, главным образом магистральных сосудов. Во время диастолы эластическая стенка артерий спадается и накопленная в ней потенциальная энергия сердца движет кровь.

Значение эластичности сосудистых стенок состоит в том, что они обеспечивают переход прерывистого, пульсирующего (в результате сокращения желудочков) тока крови в постоянный. Это сглаживает резкие колебания давления, что способствует бесперебойному снабжению органов и тканей.

Кровяное давление – давление крови на стенки кровеносных сосудов. Измеряется в мм рт.ст. Величина кровяного давления зависит от трех основных факторов: частоты, силы сердечных сокращений, величины периферического сопротивления, то есть тонуса стенок сосудов.

Различают:

- Систолическое (максимальное) давление – отражает состояние миокарда левого желудочка. Оно составляет **100-120 мм рт.ст.**
- Диастолическое (минимальное) давление – характеризует степень тонуса артериальных стенок. Оно равняется **60-80 мм рт.ст.**
- Пульсовое давление – это разность между величинами систолического и диастолического давления. Пульсовое давление необходимо для открытия клапанов аорты и легочного ствола во время систолы желудочков. В норме оно равно 35-55 мм рт.ст.
- Среднединамическое давление равняется сумме диастолического и **1/3 пульсового давления.**

Повышение АД – гипертензия, понижение – гипотензия.

Систолическое давление — это давление, которое развивается во время сокращения сердечной мышцы. Частично в его создании участвуют крупные артерии, такие как аорта, выполняя роль буфера, поэтому утверждение, что это сердечное давление, не совсем верно.

После сердечного сокращения клапан аорты закрывается, и кровь не может поступать обратно в сердце, в этот момент происходит его наполнение обогащенной кислородом кровью, для производства следующего сокращения. На данном этапе кровь пассивно двигается по сосудам — это и будет так называемое диастолическое давление.

Артериальный пульс.

Артериальный пульс – периодические расширения и удлинения стенок артерий, обусловленные поступлением крови в аорту при систоле левого желудочка.

Пульс характеризуют следующие признаки: частота – **число ударов в 1 мин.**, ритмичность – правильное чередование пульсовых ударов, наполнение – степень изменения объема артерии, устанавливаемая по силе пульсового удара, напряжение – характеризуется силой, которую надо приложить, чтобы сдавить артерию до полного исчезновения пульса.

Кривая, полученная при записи пульсовых колебаний стенки артерии, называется сфигмограммой.

Особенности кровотока в венах.

В венах давление крови низкое. Если в начале артериального русла давление крови равно **140 мм рт.ст.**, то в венах оно составляет **10-15 мм рт.ст.**

Движению крови по венам способствует ряд факторов:

- Работа сердца создает разность давления крови в артериальной системе и правом предсердии. Это обеспечивает венозный возврат крови к сердцу.
- Наличие в венах клапанов способствует движению крови в одном направлении – к сердцу.
- Чередование сокращений и расслаблений скелетных мышц является важным фактором, способствующим движению крови по венам. При сокращении мышц тонкие стенки вен сжимаются, и кровь продвигается по направлению к сердцу. Расслабление скелетных мышц способствует поступлению крови из артериальной системы в вены. Такое нагнетающее действие мышц получило название мышечного насоса, который является помощником основного насоса – сердца.
- Отрицательное внутригрудное давление, особенно в фазу вдоха, способствует венозному возврату крови к сердцу.

Время кругооборота крови.

Это время, необходимое для прохождения крови по двум кругам кровообращения. У взрослого здорового человека при 70-80 сокращениях сердца в 1 мин полный кругооборот крови происходит за 20-23 с. Из этого времени 1/5 приходится на малый круг кровообращения и 4/5 – на большой.

Движение крови в различных отделах системы кровообращения характеризуется двумя показателями:

- Объемная скорость кровотока (количество крови, протекающей в единицу времени) одинакова в поперечном сечении любого участка ССС.
- Объемная скорость в аорте равна количеству крови, выбрасываемой сердцем в единицу времени, то есть минутному объему крови.

На объемную скорость кровотока оказывают влияние в первую очередь разность давления в артериальной и венозной системах и сопротивление сосудов. На величину сопротивления сосудов влияет ряд факторов: радиус сосудов, их длина, вязкость крови.

Линейная скорость кровотока – это путь, пройденный в единицу времени каждой частицей крови. Линейная скорость кровотока неодинакова в разных сосудистых областях. Линейная скорость движения крови в венах меньше, чем в артериях. Это связано с тем, что просвет вен больше просвета артериального русла. Линейная скорость кровотока наибольшая в артериях и наименьшая в капиллярах. Следовательно, линейная скорость кровотока обратно пропорциональна суммарной площади поперечного сечения сосудов. Величина кровотока в отдельных органах зависит от кровоснабжения органа и уровня его активности.

Физиология микроциркуляции.

Нормальному течению обмена веществ способствуют процессы микроциркуляции – направленного движения жидких сред организма: крови, лимфы, тканевой и цереброспинальной

жидкостей и секретов эндокринных желез. Совокупность структур, обеспечивающих это движение, называется микроциркуляторным руслом. Основными структурно-функциональными единицами микроциркуляторного русла являются кровеносные и лимфатические капилляры, которые вместе с окружающими их тканями формируют три звена микроциркуляторного русла: капиллярное кровообращение, лимфообращение и тканевый транспорт.

Общее количество капилляров в системе сосудов большого круга кровообращения составляет около **2 млрд.**, протяженность их – **8000 км**, площадь внутренней поверхности 25 кв.м.

Стенка капилляра состоит из двух слоев: внутреннего эндотелиального и наружного, называемого базальной мембраной.

Кровеносные капилляры и прилежащие к ним клетки являются структурными элементами гистогематических барьеров между кровью и окружающими тканями всех без исключения внутренних органов. Эти барьеры регулируют поступление из крови в ткани питательных, пластических и биологически активных веществ, осуществляют отток продуктов клеточного метаболизма, способствуя, таким образом, сохранению органного и клеточного гомеостаза, и, наконец, препятствуют поступлению из крови в ткани чужеродных и ядовитых веществ, токсинов, микроорганизмов, некоторых лекарственных веществ.

Транскапиллярный обмен. Важнейшей функцией гистогематических барьеров является транскапиллярный обмен. Движение жидкости через стенку капилляра происходит за счет разности гидростатического давления крови и гидростатического давления окружающих тканей, а также под действием разности величины осмотического давления крови и межклеточной жидкости.

Тканевый транспорт. Стенка капилляра морфологически и функционально тесно связана с окружающей ее рыхлой соединительной тканью. Последняя переносит поступающую из просвета капилляра жидкость с растворенными в ней веществами и кислород к остальным тканевым структурам.

Лимфа и лимфообращение.

Лимфатическая система состоит из капилляров, сосудов, лимфатических узлов, грудного и правого лимфатического протоков, из которых лимфа поступает в венозную систему.

У взрослого человека в условиях относительного покоя из грудного протока в подключичную вену ежеминутно поступает около 1 мл лимфы, в сутки – от 1,2 до 1,6 л.

Лимфа – это жидкость, содержащаяся в лимфатических узлах и сосудах. Скорость движения лимфы по лимфатическим сосудам составляет 0,4-0,5 м/с.

По химическому составу лимфа и плазма крови очень близки. Основное отличие - в лимфе содержится значительно меньше белка, чем в плазме крови.

Образование лимфы.

Источник лимфы - тканевая жидкость. Тканевая жидкость образуется из крови в капиллярах. Она заполняет межклеточные пространства всех тканей. Тканевая жидкость является промежуточной средой между кровью и клетками организма. Через тканевую жидкость клетки получают все необходимые для их жизнедеятельности питательные вещества и кислород и в нее же выделяют продукты обмена веществ, в том числе и углекислый газ.

Движение лимфы.

Постоянный ток лимфы обеспечивается непрерывным образованием тканевой жидкости и переходом ее из межтканевых пространств в лимфатические сосуды. Существенное значение для движения лимфы имеет активность органов и сократительная способность лимфатических сосудов. В лимфатических сосудах имеются мышечные элементы, благодаря чему они обладают способностью активно сокращаться. Наличие клапанов в лимфатических капиллярах обеспечивает движение лимфы в одном направлении (к грудному и правому лимфатическому протокам).

К вспомогательным факторам, способствующим движению лимфы, относятся: сократительная деятельность поперечнополосатых и гладких мышц, отрицательное давление в крупных венах и грудной полости, увеличение объема грудной клетки при вдохе, что обуславливает присасывание лимфы из лимфатических сосудов.

Основными функциями лимфатических капилляров являются дренажная, всасывания, транспортно-элиминативная, защитная и фагоцитоз.

Дренажная функция осуществляется по отношению к фильтрату плазмы с растворенными в нем коллоидами, кристаллоидами и метаболитами. Всасывание эмульсий жиров, белков и других коллоидов осуществляется в основном лимфатическими капиллярами ворсинок тонкого кишечника.

Транспортно-элиминативная – это перенос в лимфатические протоки лимфоцитов, микроорганизмов, а также выведение из тканей метаболитов, токсинов, обломков клеток, мелких инородных частиц.

Защитная функция лимфатической системы выполняется своеобразными биологическими и механическими фильтрами – лимфатическими узлами.

Фагоцитоз заключается в захвате бактерий и инородных частиц.

Лимфатические узлы.

Лимфа в своем движении от капилляров к центральным сосудам и протокам проходит через лимфатические узлы. У взрослого человека имеется 500-1000 лимфатических узлов различных размеров – от булавочной головки до мелкого зерна фасоли.

Лимфатические узлы выполняют ряд важных функций: гемопоэтическую, иммунопоэтическую, защитно-фильтрационную, обменную и резервуарную. Лимфатическая система в целом обеспечивает отток лимфы от тканей и поступление ее в сосудистое русло.

Движение крови

Кровь, проходя по сосудам, испытывает сопротивление движению как со стороны сосудов, так и из-за вязкости самой крови. Чем выше сопротивление току крови, тем большая сила затрачивается на ее продвижение по сосуду. Величина сопротивления зависит от диаметра сосуда, его длины, скорости кровотока. Поэтому сердце выбрасывает кровь в сосудистую систему под большим давлением. В разных отделах сосудистой системы давление крови будет разным. В аорте среднее давление в 100 мм рт.ст. колеблется в диапазоне от 120 мм рт.ст. при систоле (систолическое давление) до 80 мм рт.ст. при диастоле (диастолическое давление). Разница между ними называется пульсовым давлением.

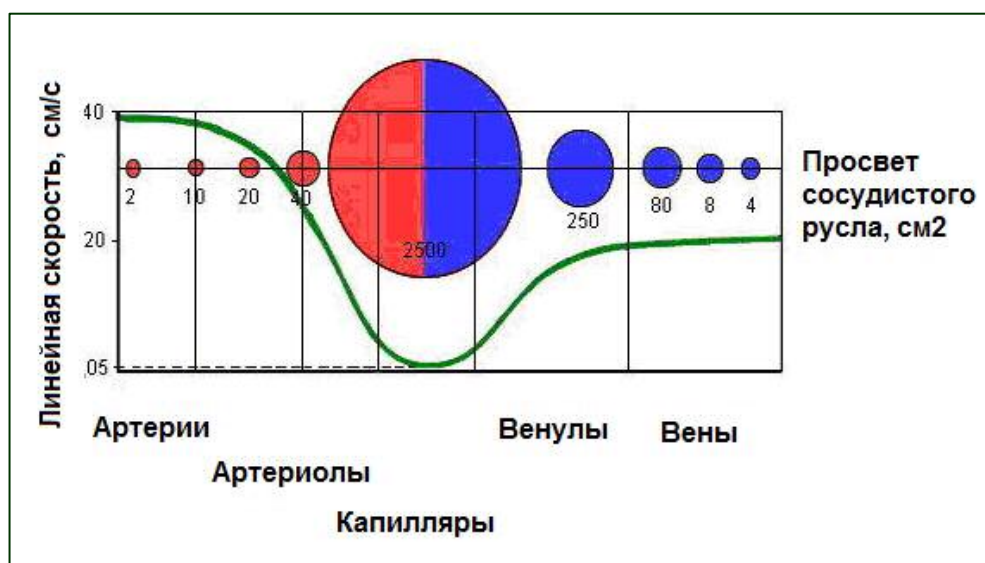


Рисунок 5.1 Показатели гемодинамики в различных отделах сосудистого русла. Суммарный просвет сосудов и линейная скорость кровотока.

По мере движения крови давление в сосудистом русле падает. Таким образом, непрерывные, ритмические сокращения сердца, преодолевая сопротивление, создают и поддерживают разность кровяного давления между артериальным и венозным участком сосудистой системы. Эта разность давлений и является главной причиной движения крови по сосудам из области высокого давления в область более низкого.

При движении крови по сосудам различают линейную и объемную скорость кровотока.

Линейная скорость кровотока

Линейная скорость определяется суммарным сечением сосудистой системы. Она максимальна в аорте — до **50 см/сек** (аорта — самое «узкое» место в сосудистой системе) и минимальна в капиллярах — около нуля. Суммарный просвет капилляров примерно в 800 раз превышает сечение аорты. В венозном отделе сосудистой системы линейная скорость вновь возрастает. Поскольку в организме на одну артерию приходится две вены, то и суммарный просвет венозной системы в два раза шире артериальной. Линейная скорость в полых венах в два раза меньше, чем в аорте и равна примерно **25 см/мин**.

Объемная скорость кровотока

Объемная скорость кровотока — это количество крови, протекающее через общее сечение сосудистой системы в единицу времени. Она одинакова во всех отделах сосудистой системы. Через любое сечение сосудистой системы в единицу времени всегда проходит одинаковое количество крови.

Время полного кругооборота крови — это то время, за которое кровь проходит через большой и малый круги кровообращения. При **70-80** сокращениях сердца в минуту полный кругооборот крови происходит приблизительно за **20-23 сек**.

Принципы и типы регуляции движения крови по сосудам

Механизмы, регулирующие кровообращение, можно разделить на две группы. Это центральные и местные механизмы. Главная цель центральных механизмов, регулирующих системное кровообращение, — обеспечить необходимое взаимодействие между сердечным выбросом и тонусом (просветом) сосудов для поддержания артериального давления на постоянном уровне. В основе центральной регуляции системного кровообращения лежат нервный и гуморальный механизмы.

Местные механизмы регулируют величину кровотока через отдельные органы. Задачи местного кровотока определяются не только кровоснабжением его клеток — доставкой к ним кислорода, питательных веществ и т.д. Уровень органного (местного) кровотока в значительной степени определяется функцией органа и особенностями его обмена веществ. Поэтому гладкие мышцы артериол мозга, почек, пищеварительного тракта, кожи, обладают разной чувствительностью к нервным влияниям и гуморальным факторам. Базальный тонус сосудов некоторых внутренних органов, например, мозга и почек регулируется с помощью особых механизмов ауторегуляции. Гладкие мышцы их сосудов более чувствительны к периферическим гормонам, вырабатываемым местно, (для почек) или к метаболитам (для сосудов мозга).

Сосудистый тонус

В структуры стенок всех сосудов организма кроме капилляров входят гладкие мышцы, которые даже в отсутствии нервных и гуморальных влияний находятся в состоянии некоторого постоянного сокращения, называемого миогенным базальным тонусом.

Сосуды, лишённые нервных и гуморальных влияний, как оказалось, сохраняют (хотя и в меньшей мере) способность оказывать сопротивление кровотоку. Денервация сосудов скелетных мышц, например, увеличивает кровоток в них примерно в два раза, но последующее введение ацетилхолина в кровоток этой сосудистой области может вызвать дальнейшее десятикратное увеличение в ней кровотока, свидетельствующее о сохраняющейся в этом случае способности сосудов к вазодилатации. Для обозначения этой особенности денервированных сосудов оказывать сопротив-

ление кровотоку введено понятие «базальный тонус сосудов». Базальный тонус сосудов определяется структурными и миогенными факторами. Структурная часть его создается жесткой сосудистой «сумкой», образованной коллагеновыми волокнами, которая определяет сопротивление сосудов, если активность их гладких мышц полностью исключена. Миогенная часть базального тонуса обеспечивается напряжением гладких мышц сосудов в ответ на растягивающее усилие артериального давления. Следовательно, изменения сопротивления сосудов под влиянием нервных или гуморальных факторов наслаиваются на базальный тонус, который для определенной сосудистой области более или менее постоянен. Если нервные и гуморальные влияния отсутствуют, а нейрогенный компонент сопротивления сосудов равен нулю, сопротивление их кровотоку определяется базальным тонусом.

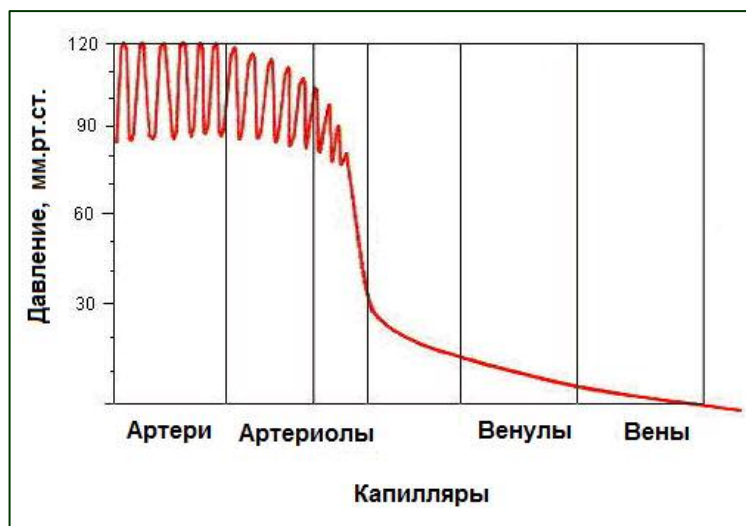


Рисунок 5.2 Распределение давления в сосудах

Одной из причин базального тонуса является способность гладких мышц к автоматии и их высокая чувствительность к механическим влияниям, особенно к растяжению. В разных областях сосудистого русла базальный тонус выражен не одинаково — он особенно выражен в артертолах, прекапиллярных сфинктерах, посткапиллярных венах. Основу базального тонуса составляют сокращения гладких мышц сосудов, и, таким образом, базальный тонус — это мишень различных влияний, регулирующих просвет сосуда в интересах поддержания уровня артериального давления или изменения кровотока в органах.



Рисунок 5.3 Показатели гемодинамики в различных отделах сосудистого русла.

5.1 Исследование модели истечения кровотока

Модель представлена выражением, определяющим потери напора или потери давления в сети кровотока :

$$V = \alpha \sqrt{2g10p}$$

где

p - давление (Атм.);

V — средняя скорость течения жидкости;

$\alpha = 0,08$ - коэффициент эластичности сосудов;

g — ускорение свободного падения;

Примечание

1. мм.рт. ст. соответствует 133,322 Па = 0,001316 Атм.

2. Нижнее число АД— диастолическое артериальное давление, показывает давление в артериях в момент расслабления сердечной мышцы.

3. Верхнее число АД— систолическое артериальное давление, показывает давление в артериях в момент, когда сердце сжимается и выталкивает кровь

Задание

1. Провести расчет оценки потери напора в системе кровоснабжения, при разных значениях скорости кровотока. Значение $g = 9,8 \text{ м/с}^2$

Данные для расчета

Таблица 1

	Показатель Р /Атм./	Показатель Р /мм.рт. ст./	Расчетное значение скорости потока [м/с]
1.	0,094752		
2.	0,096068		
3.	0,097384		
4.	0,0987		
5.	0,100016		
6.	0,101332		
7.	0,102648		
8.	0,103964		

Таблица 2

	Показатель Р /Атм./	Показатель Р /мм. рт. ст./	Расчетное значение скорости потока [м/с]
9.	0,11186		
10.	0,11844		
11.	0,12502		
12.	0,1316		
13.	0,13818		
14.	0,14476		
15.	0,15134		
16.	0,15792		

Указание

1. Провести расчеты показателя.
2. Построить графические зависимости
3. Сделать выводы о моделируемых процессах.

* Отчет подготовить используя текстовый процессор Word и среду для создания иллюстративного материала EXCEL

5.2 Исследование модели истечения кровотока

Модель представлена выражением, определяющим потери напора или потери давления в сети кровотока :

$$\Delta h = \xi \cdot \frac{V^2}{2g}$$

где

Δh — потери напора ;

ξ — коэффициент потерь ;

V — средняя скорость течения жидкости;

g — ускорение свободного падения;

$\frac{V^2}{2g}$ - скоростной напор.

Задание

2. Провести расчет оценки потери напора в системе кровоснабжения, при разных значениях скорости кровотока. Значение $g=9,8 \text{ м/с}^2$

Данные для расчета

Таблица 1

	Коэффициент потерь	Средняя скорость потока [м/с]	Расчетное значение потери потока [м]
17.	0,86	0,38	
18.	0,75	0,40	
19.	0,7	0,42	
20.	0,68	0,44	
21.	0,65	0,48	

Таблица 2

	Коэффициент потерь	Средняя скорость потока [м/с]	Расчетное значение потери потока [м]
22.	0,65	0,38	
23.	0,68	0,40	
24.	0,7	0,42	
25.	0,75	0,44	
26.	0,86	0,48	

Указание

4. Провести расчеты показателя.
5. Построить графические зависимости
6. Сделать выводы о моделируемых процессах.

* Отчет подготовить используя текстовый процессор Word и среду для создания иллюстративного материала EXCEL

5.3 Исследование модели истечения кровотока

Модель представлена выражением, определяющим потери напора или потери давления в сети кровотока :

$$\Delta h = \xi \cdot \frac{V^2}{2g}$$

где

Δh — потери напора ;

ξ — коэффициент потерь, отражающий динамику гомеостаза ;

V — средняя скорость течения жидкости;

g — ускорение свободного падения;

$\frac{V^2}{2g}$ - скоростной напор.

Указание

Принять

$$\xi = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2, \text{ Коэффициент отражающий наличие сужений и расширений в русле крови}$$

где

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S1	-7,37	-12,83	-14,99	-13,29	-8,16	-0,93	6,54	12,33	14,94	13,69
S2	-10,69	-11,07	-0,77	10,27	11,41	1,55	-9,81	-11,71	-2,31	9,31

Задание

3. Провести расчет оценки потери напора в системе кровоснабжения, при разных значениях скорости кровотока. Значение $g = 9,8 \text{ м/с}^2$

Данные для расчета

Таблица 1

	Коэффициент потерь	Средняя скорость потока [м/с]	Расчетное значение потери потока [м]
1.		0,35	
2.		0,38	
3.		0,41	
4.		0,44	

5.		0,47	
6.		0,5	
7.		0,53	
8.		0,56	
9.		0,59	
10.		0,62	

Таблица 2

	Коэффициент потерь	Средняя скорость потока [м/с]	Расчетное значение потери потока [м]
11.		0,28	
12.		0,292	
13.		0,304	
14.		0,316	
15.		0,328	
16.		0,34	
17.		0,352	
18.		0,364	
19.		0,376	
20.		0,388	

Таблица 3

	Коэффициент потерь	Средняя скорость потока [м/с]	Расчетное значение потери потока [м]
21.		0,31	
22.		0,34	
23.		0,37	
24.		0,4	
25.		0,43	
26.		0,46	
27.		0,49	
28.		0,52	
29.		0,55	
30.		0,58	

Указание

7. Провести расчеты показателя.
8. Построить графические зависимости
9. Сделать выводы о моделируемых процессах.

* Отчет подготовить используя текстовый процессор Word и среду для создания иллюстративного материала EXCEL

5.4 Исследование модели истечения кровотока

Модель представлена выражением, определяющим потери напора или потери давления в сети кровотока :

$$\Delta h = \xi \cdot \frac{V^2}{2g}$$

где

Δh — потери напора ;

ξ — коэффициент потерь, отражающий динамику гомеостаза ;

V — средняя скорость течения жидкости;

g — ускорение свободного падения;

$$\frac{V^2}{2g} - \text{скоростной напор.}$$

Указание

Принять

$$\xi = \frac{1 - S_2/S_1}{2}, \text{ коэффициент учитывающий «вариации геометрии» русла кровотока}$$

где

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S1	-24,69	-23,29	2,72	25,86	21,67	-5,41	-26,78	-19,84	8,06	27,45
S2	7,50	0,20	-7,49	-0,40	7,48	0,60	-7,47	-0,79	7,45	0,99

Задание

4. Провести расчет оценки потери напора в системе кровоснабжения, при разных значениях скорости кровотока. Значение $g=9,8 \text{ м/с}^2$

Данные для расчета

Таблица 1

	Коэффициент потерь	Средняя скорость потока [м/с]	Расчетное значение потери потока [м]
31.		0,35	
32.		0,38	
33.		0,41	
34.		0,44	
35.		0,47	
36.		0,5	
37.		0,53	
38.		0,56	
39.		0,59	
40.		0,62	

Таблица 2

	Коэффициент потерь	Средняя скорость потока [м/с]	Расчетное значение потери потока [м]
41.		0,28	
42.		0,292	
43.		0,304	
44.		0,316	
45.		0,328	
46.		0,34	
47.		0,352	
48.		0,364	
49.		0,376	
50.		0,388	

Таблица 3

	Коэффициент потерь	Средняя скорость потока [м/с]	Расчетное значение потери потока [м]
51.		0,31	
52.		0,34	
53.		0,37	
54.		0,4	
55.		0,43	
56.		0,46	
57.		0,49	
58.		0,52	
59.		0,55	
60.		0,58	

Указание

10. Провести расчеты показателя.
11. Построить графические зависимости
12. Сделать выводы о моделируемых процессах.

* Отчет подготовить используя текстовый процессор Word и среду для создания иллюстративного материала EXCEL

5.5 Исследование модели истечения кровотока

Модель представлена выражением, определяющим потери напора или потери давления в сети кровотока :

$$\Delta h = \xi \cdot \frac{V^2}{2g}$$

где

Δh — потери напора ;

ξ — коэффициент потерь, отражающий динамику гомеостаза ;

V — средняя скорость течения жидкости;

g — ускорение свободного падения;

$$\frac{V^2}{2g} - \text{скоростной напор.}$$

Указание

Принять

$$\xi = \frac{\lambda_T}{8 \sin(n/8)} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) \quad \text{коэффициент учитывающий наличие клапанов сердца}$$

где $n = \frac{S_1}{S_2}$, $\lambda_T = 0,87$ показатель синхронности работы клапанов

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S1	-24,69	-23,29	2,72	25,86	21,67	-5,41	-26,78	-19,84	8,06	27,45
S2	7,50	0,20	-7,49	-0,40	7,48	0,60	-7,47	-0,79	7,45	0,99

Задание

5. Провести расчет оценки потери напора в системе кровоснабжения, при разных значениях скорости кровотока. Значение $g = 9,8 \text{ м/с}^2$

Данные для расчета

Таблица 1

	Коэффициент потерь	Средняя скорость потока [м/с]	Расчетное значение потери потока [м]
61.		0,35	
62.		0,38	
63.		0,41	
64.		0,44	
65.		0,47	
66.		0,5	
67.		0,53	
68.		0,56	
69.		0,59	
70.		0,62	

Таблица 2

	Коэффициент потерь	Средняя скорость потока [м/с]	Расчетное значение потери потока [м]
71.		0,28	
72.		0,292	
73.		0,304	
74.		0,316	
75.		0,328	
76.		0,34	
77.		0,352	
78.		0,364	
79.		0,376	
80.		0,388	

Таблица 3

	Коэффициент потерь	Средняя скорость потока [м/с]	Расчетное значение потери потока [м]
81.		0,31	
82.		0,34	
83.		0,37	
84.		0,4	
85.		0,43	
86.		0,46	
87.		0,49	
88.		0,52	
89.		0,55	
90.		0,58	

Указание

13. Провести расчеты показателя.
14. Построить графические зависимости
15. Сделать выводы о моделируемых процессах.

* Отчет подготовить используя текстовый процессор Word и среду для создания иллюстративного материала EXCEL