

СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТАЯ ДИНАМИКА

Цели:

1. Определять следующие гемодинамические показатели: поток крови; вязкость; периферическое сопротивление; систолический и диастолический объем, ударный объем.
2. Исследовать сердечно-сосудистую динамику, используя экспериментальную установку, чтобы моделировать функции человеческого органа.
3. Понять, что функции сердца и кровеносных сосудов высоко скоординированы.
4. Определить изменения давления, которые обеспечивают движущую силу, которая перемещается кровь через кровеносные сосуды.
5. Идентифицировать самые важные факторы в управлении потока крови.
6. Выяснить, как диаметр кровеносного сосуда может изменить перекачивающую способность сердца.
8. Исследовать влияние ударного объема на величину потока крови.

Физиология человеческого кровообращения может быть разделена на два согласованных процесса:

- 1) перекачка крови сердцем, и
- 2) транспорт крови ко всем тканям тела через кровеносные сосуды.

Кровоснабжения всех ткани тела осуществляется в соответствии с их потребностями в веществах, нужных для выживания.

МЕХАНИКА ОБРАЩЕНИЯ

Чтобы понимать, как кровь транспортируется по всему телу, давайте исследовать три важных фактора, влияющие на циркуляцию крови: поток крови (объемную скорость крови), кровяное давление, и периферийное сопротивление.

Поток крови - количество крови, двигающейся через область тела или всю сердечно-сосудистую систему в единицу времени (объемная скорость крови). Поток крови к определенным областям тела может измениться существенно в данный временной период. Органы отличаются по их требованиям в каждый момент времени, и кровеносные сосуды сжимаются или расширяются, чтобы регулировать местный поток крови к различным областям в ответ на неотложные потребности ткани. Следовательно, поток

крови может увеличиться в некоторых областях тела, и уменьшится в других областях в то же самое время.

Кровяное давление – сила, с которой кровь давит на стенку кровеносного сосуда.

Вследствие сердечной деятельности давление наиболее высоко в сердечном конце любой артерии. Из-за влияния периферического сопротивления давление в артериях понижается пропорционально расстоянию от сердца. Этот градиент давления заставляет кровь двигаться от сердца и затем назад к сердцу (всегда от высокого к низкому давлению).

Периферическое сопротивление - сопротивление потоку крови в результате трения крови со стенками кровеносных сосудов. Три фактора обеспечивают сопротивление сосудов: вязкость крови, радиус сосуда, и длина сосуда.

Вязкость крови - вызвана присутствием белков и сформированных элементов в плазме (жидкой части крови). По мере увеличения вязкости жидкости величина ее потока через трубку уменьшается. Вязкость крови у здоровых людей обычно не изменяется, но некоторые состояния, например полицитемия или уменьшение числа клеток крови, могут изменить ее.

Управление радиусом кровеносного сосуда – основной метод управления потоком крови. Это достигается в результате сокращения или расслабления гладкой мускулатуры в стенке кровеносного сосуда. Чтобы увидеть, почему радиус имеет такой явный эффект на поток крови, мы должны исследовать физические отношения между кровью и стенкой судна. Кровь в прямом контакте со стенкой сосуда течет относительно медленно из-за трения между кровью и стенкой сосуда. Напротив, жидкость в центре сосуда течет более свободно, потому что не трется со стенкой. Когда мы сравниваем сосуды большого и маленького радиуса, мы видим, что пропорционально больше крови находится в контакте со стенками маленьких сосудов, следовательно, сопротивление потоку крови особенно велико в сосудах с маленьким радиусом.

Хотя длина судна обычно не изменяется у здорового человека, все же увеличение длины сосуда вызывает соответствующее уменьшение потока. Этот эффект преимущественно вызывается трением между кровью и стеной сосуда. Следовательно, если мы имеем два кровеносных сосуда того же самого диаметра, то более длинный сосуд будет иметь больше сопротивление, и таким образом уменьшенный поток крови.

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ КРОВИ И СОПРОТИВЛЕНИЯ СОСУДА НА ПОТОК КРОВИ

Уравнение Пуазейля описывает отношения между давлением, радиусом судна, вязкостью, длиной сосуда и величиной потока крови:

$$\text{Поток крови } Q = \Delta P r^4 / 8 h l$$

В уравнении, ΔP - разность давления между двумя концами сосуда и представляет движущую силу крови. Вязкость (**h**) и длина кровеносного сосуда (**l**) обычно не изменяются у здорового взрослого человека. Мы можем также видеть из уравнения, что поток крови непосредственно пропорционален четвертой степени радиуса сосуда (r^4), что означает, что малейшие изменения радиуса сосуда приводят к большим изменениям в потоке крови. В человеческом теле, изменение радиуса кровеносных сосудов обеспечивает чрезвычайно эффективный и чувствительный метод управления потоком крови. Периферическое сопротивление - самый важный фактор в управлении потоком крови, потому что кровообращение в отдельных органах может независимо регулироваться и удерживаться на необходимом уровне, даже когда системное давление существенно изменяется.

Сопротивление сосуда

Вообразите на мгновение, что Вы - один из первых сердечно-сосудистых исследователей, заинтересованный физикой потока крови. Ваша первая задача - смоделировать простую насосную систему, ток жидкости в которой может быть связан с механикой сердечно-сосудистой системы. Начальное явление, которое Вы изучаете - то, как жидкости, включая кровь, текут через трубы или кровеносные сосуды.

Попытайтесь ответить на следующие вопросы:

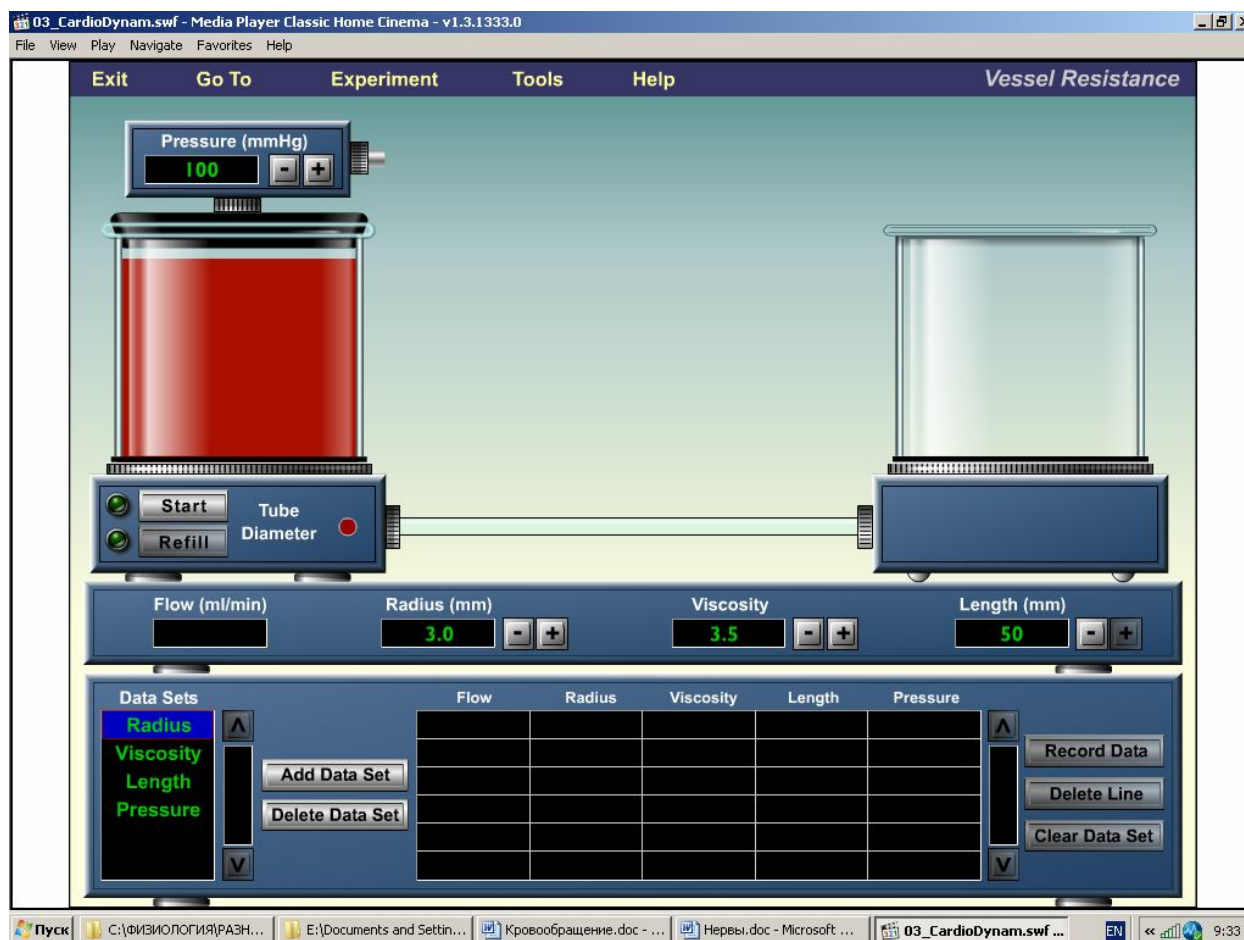
1. Какую роль давление играет в потоке жидкости?
2. Как периферическое сопротивление влияет на жидкостный поток?

Оборудование, способное решить эти и другие вопросы, разработано для Вас в форме компьютерной модели. Первая часть компьютерной модели исследует эффекты давления, радиуса сосуда, вязкости, и сосудистой длины на поток жидкости. Вторая часть эксперимента исследует эффекты нескольких переменных на продукции насоса, перекачивающего жидкость в системе. Следуйте разработанным инструкциям при осуществлении упражнения для того, чтобы собрать необходимые данные.

Когда Вы запустите программу, то увидите на экране пару стеклянных емкостей которые взгромоздились наверху моделируемого электронного устройства, называемого блоком управления, который используется, чтобы установить параметры эксперимента и запустить оборудование. Когда

щелкают кнопкой **Start** (ниже левой емкости), моделируемая кровь течет от левой емкости к правой емкости через соединяющуюся трубу. Щелчок кнопкой **Refill** снова наполняет исходную емкость после экспериментального испытания. Экспериментальные параметры могут быть отрегулированы, щелкая плюс (1) или минус (2) кнопки справа от каждого окна.

Рис. 1. Модельная установка для изучения роли показателей гемодинамики в циркуляции крови по сосудам.



Оборудование в более низкой части экрана называют собранием полученных данных. Это оборудование делает запись данных, которые Вы накапливаете в течение эксперимента. Набор данных для первого эксперимента (Радиус) выдвинут на первый план в окне **Sets**. Вы можете добавить или удалить установленные данные, щелкая соответствующей кнопкой направо от окна **Data Sets**. Кнопка **Record Data** внизу правой части экрана активизируется автоматически после экспериментального испытания.

Щелчок «удалить линию» (**Delete Line**) или кнопки **Clear Data Set** стирают любые данные, Вы хотите к удалить.

После окончания эксперимента Вы будете делать запись данных, которые Вы накапливаете в экспериментальной сетке ценностей внизу средней части экрана, в протокольную тетрадь и делать необходимые выводы.

Часть 1.

Эксперимент 1:

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАДИУСА ТРУБЫ НА ВЕЛИЧИНУ ПОТОКА ЖИДКОСТИ

Ход работы:

1. Провести начальную установку оборудования.

А) линия **Radius** в блоке собрании данных должна быть выдвинута на первый план (ярко синий). Если этого нет, выберите это, щелкая линией **Radius**. Блок сбора данных будет теперь делать запись изменений потока из-за изменяющегося радиуса трубы;

Б), если сетка данных не пуста, щелкните **Clear Data Set**, чтобы отказаться от всех предыдущих данных.

В), если левая емкость не полна, щелкните **Refill** (снова наполнить)

2. Регулировать радиус трубы потока до величины 1.5 мм (**Radius**) и вязкость (**Viscosity**) до 1.0, щелкая соответствующие плюс или минус кнопки. Проставьте следующие условия эксперимента:

Давление - 100 мм, (вверху над левой емкостью);

Длина трубы потока - 50 мм (справа, под правой емкостью)

3. Щелкнуть **Start** , и наблюдать движение жидкости в правую емкость. (Будьте терпеливы, жидкость течет медленно!) Давление в 100 мм продвигает жидкость от левой емкости до правой мензурки через трубу потока. Величина потока будет показана в окне **Flow**, когда жидкость в левой емкости закончится. Теперь щелкните **Record Data**, чтобы показать величину потока и параметры эксперимента в таблице данных и сохранить эти данные в память компьютера для того, чтобы печатать или записать. Щелкните **Refill**, чтобы снова наполнить левую емкость.

4. Увеличить радиус на 0.5 мм и повторить шаг 3 несколько раз до максимального радиуса в 6.0 мм. Не забудьте щелкнуть **Record Data** после каждого перемещения жидкости из левого сосуда в правый. Если Вы сделали ошибку и хотите удалить ценность данных, щелкнуть на данных соответствующей линии в таблице и затем щелкните **Delete Line** (удалить линию).

Оценка результата эксперимента:

1. Что случилось с жидким потоком, когда радиус трубы был увеличен?
2. Постройте график зависимости величины потока от радиуса трубы.
3. Какие существуют отношения между потоком жидкости и радиусом трубы, линейные или другие?
4. Объясните, как наши кровеносные сосуды изменяют поток крови.

Например, после плотного обеда, когда мы отдыхаем и относительно бездействуем, мы могли бы ожидать, что кровообращение в скелетных мышцах несколько _____, тогда как кровеносные сосуды в пищеварительных органах – вероятно, должны _____. Дополните пропущенные утверждения.

Эксперимент 2:

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЯЗКОСТИ НА ПОТОК ЖИДКОСТИ

С вязкостью, равной 3 - 4, кровь является намного более вязкой чем вода (1.0 вязкости). Хотя вязкость может быть изменена различными факторами типа обезвоживания и изменения количества клеток крови, вязкость крови как гомеостатический показатель имеет относительную устойчивость. Тем не менее полезно исследовать влияние изменений вязкости на поток жидкости, потому что мы можем тогда предсказать то, что могло бы проявиться в деятельности сердечно-сосудистой системы человека при некоторых формах патологии, которые могут сопровождаться изменением реологических свойств крови.

Ход работы:

1. Установите стартовые условия следующим образом:
 - давление - 100 мм
 - радиус трубы потока - 5.0 мм
 - вязкость - 1.0
 - длина трубы потока - 50 мм
2. Щелкнуть набором данных **Вязкость (Viscosity)** в таблице собрания данных. (Это действие готовит экспериментальную сетку для записи данных вязкости.)
3. Снова наполнить (**Refill**) левую емкость, если Вы уже это не сделали.

4. Щелкнуть **Start**, чтобы начать эксперимент. После того, как вся жидкость стекла в правую емкость, щелкните **Record Data**, чтобы делать запись результатов этого опыта, и затем снова наполните (**Refill**) левую емкость.

5. Приращивая вязкость по 1.0 и повторите шаг 4 до тех пор, пока не будет достигнута максимальная вязкость (10.0).

Оценка результата эксперимента:

1. Как меняется поток жидкости при изменении ее вязкости?
2. Действительно ли соотношения между потоком и вязкости жидкий поток против вязкости обратные?
3. Сравните эффект изменения вязкости с эффектом изменения радиуса на потоке жидкости?
4. Предскажите эффект влияния анемии (эритропении) на поток крови.
5. Что могло бы случиться с потоком крови, если мы увеличили число клеток крови?
6. Объясните, почему изменение вязкости крови не выгодно использовать для управления потоком крови.
7. Вязкость крови в условиях обезвоживания была бы _____, что привело бы к _____ потока крови. Проставьте пропущенные слова.

Эксперимент 3:

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИНЫ ТРУБЫ НА ВЕЛИЧИНУ ПОТОКА ЖИДКОСТИ.

За исключением процессов нормального роста, который происходит до половой зрелости, длина кровеносных сосуда значительно не изменяется. Проводя это упражнение, мы будем способны понять физические отношения между длиной сосуда и движением крови, наблюдая, как поток крови изменяется в трубах постоянного радиуса, но различной длины.

Ход работы:

1. Установить стартовые условия следующим образом:

- Давление - 100 мм
- радиус трубы потока - 5.0 мм
- вязкость - 3.5
- длина трубы потока - 10 мм

2. Щелкнуть набором данных длины **Length** в таблице собрания данных. (Это действие готовит экспериментальную сетку к показу данных этого эксперимента)

3. Снова наполнить (**Refill**) левую емкость, если Вы уже не сделали этого.

4. Щелкнуть **Start**, чтобы начать эксперимент. После того, как вся жидкость стекла в правую емкость, щелкните **Record Data**, чтобы сделать запись этих данных, и затем щелкать снова наполните (**Refill**) левую емкость.

5. Приращивая по 5 мм, увеличивайте длину трубы потока, щелкая плюс Кнопку (+) рядом с окном длины и повторите ступени 4 до максимальной длины трубы (50 мм).

Оценка результата эксперимента:

1. Как длина трубы влияет на жидкий поток жидкости?
2. Объясните, почему изменение длины кровеносного сосуда было бы или не было хорошим методом управления кровотока в теле.

Эксперимент 4:

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА ПОТОК ЖИДКОСТИ

Разность давления между двумя концами кровеносного сосуда – движущая сила потока крови. Наша экспериментальная установка может изменять давление в оказывает левой емкости, таким образом обеспечивая движущую силу, которая продвигает жидкость через трубку к правой емкости. Вы исследуете эффект изменения давления на жидкость, измеряя жидкость в правой емкости.

Ход работы:

1. Установить стартовые условия следующим образом:
 - Давление - 25 мм
 - радиус трубы потока - 5.0 мм
 - вязкость - 3.5
 - длина трубы потока - 50 мм
2. Щелкнуть набором данных давления **Pressure** в таблице собрания данных. (Это действие готовит экспериментальную сетку к регистрации результатов этого эксперимента)
3. Снова наполните (**Refill**) левую мензурку, если Вы уже не сделали этого.
4. Щелкнуть **Start**, чтобы начать эксперимент. После того, как вся жидкость продвинулась в правую емкость, щелкните **Record Data**, чтобы

делать запись этих данных. Щелкните **Refill**, чтобы снова наполнить покинутую емкость.

5. Увеличьте на 25 мм давление движения, щелкая кнопку (+) рядом с окном давления и повторяйте ступень 4 до максимального давления (225 мм).

Оценка результата эксперимента:

1. Как давление влияет на поток жидкости?
2. Как это влияние отличается от других?
3. Изменение давления может использоваться как средство управления потоком крови. Объясните, почему этот подход не был бы столь же эффективен, как изменяющийся радиус кровеносного сосуда

Часть 2.

МЕХАНИКА НАСОСНОЙ ФУНКЦИИ СЕРДЦА

В человеческом теле сердце сокращается приблизительно 70 раз в минуту. Цикл деятельности сердца состоит из периода наполнения, в течение которого кровь перемещается в полости сердца, и периода изгнания, когда кровь активно накачивается в большие артерии. Сердечные полости заполняются в течение **диастолы** (расслабления сердца) и выбрасываются в артерии в течение **систолы** (сокращения сердца). Отрезок времени, когда сердце расслаблено, определяет количество крови в полостях сердца в конце фазы наполнения. До определенного пункта увеличение времени заполнения желудочков приводит к увеличению объема желудочков. Объем желудочков в конце диастолы, как раз перед сердечным сокращением, называется **конечным диастолическим объемом**, или **EDV**.

Кровь перемещается от сердца в артериальную систему, когда систолическое давление выше остаточного давления (от предыдущей систолы) в аорте. Хотя желудочковое сокращение приводит к изгнанию крови, сердце не запустевает полностью. Небольшое количество крови (**конечный систолический объем**, или **ESV**) остается в желудочках в конце систолы.

Поскольку кислородный запрос тканей тела изменяется в зависимости от уровня деятельности, минутный объем крови (количество крови, накачанное каждым желудочком в минуту), соответственно изменяется. Мы можем вычислить ударный объем УОС (количество крови, накачанной в сокращение каждого желудочка), отняв от конечного диастолического объема конечный систолический объем ($УОС = EDV - ESV$). После этого мы можем вычислить минутную сердечную продукцию (МОК), умножая ударный объем на частоту сердечбиений ($МОК = УОС \times ЧСС$)

Человеческое сердце - сложный четырехкамерный орган, состоящий из двух отдельных насосов (правого и левого), связанных вместе последовательно. Правое сердце качает кровь через легкие в левое сердце, которое в свою очередь поставляет кровь к системам тела. Затем кровь возвращается к правому сердцу и заканчивает свой кругооборот.

Используя часть 2 программы **«Механика насосной функции сердца»**, Вы можете исследовать действие простого однокамерного насоса, и применить физические понятия, полученные при моделировании, к действию любого из двух насосов человеческого сердца.

В этом эксперименте Вы можете изменять начальный и конечный объем насоса (диастолический - EDV и систолический - ESV соответственно), изменяя давление, сопротивление и диаметры труб потока, втекающих и вытекающих из емкости насоса, и моделировать условия работы как левого, так и правого желудочков сердца. Например, вообразите, что труба потока, ведущая к насосу слева представляет легочные вены, в то время как труба потока, переходящая к насосу направо представляет аорту. Насос тогда представил бы левую сторону сердца.

Ход исследования.

Выберите Механику Насоса (**Pump Mechanics**) из меню эксперимента.

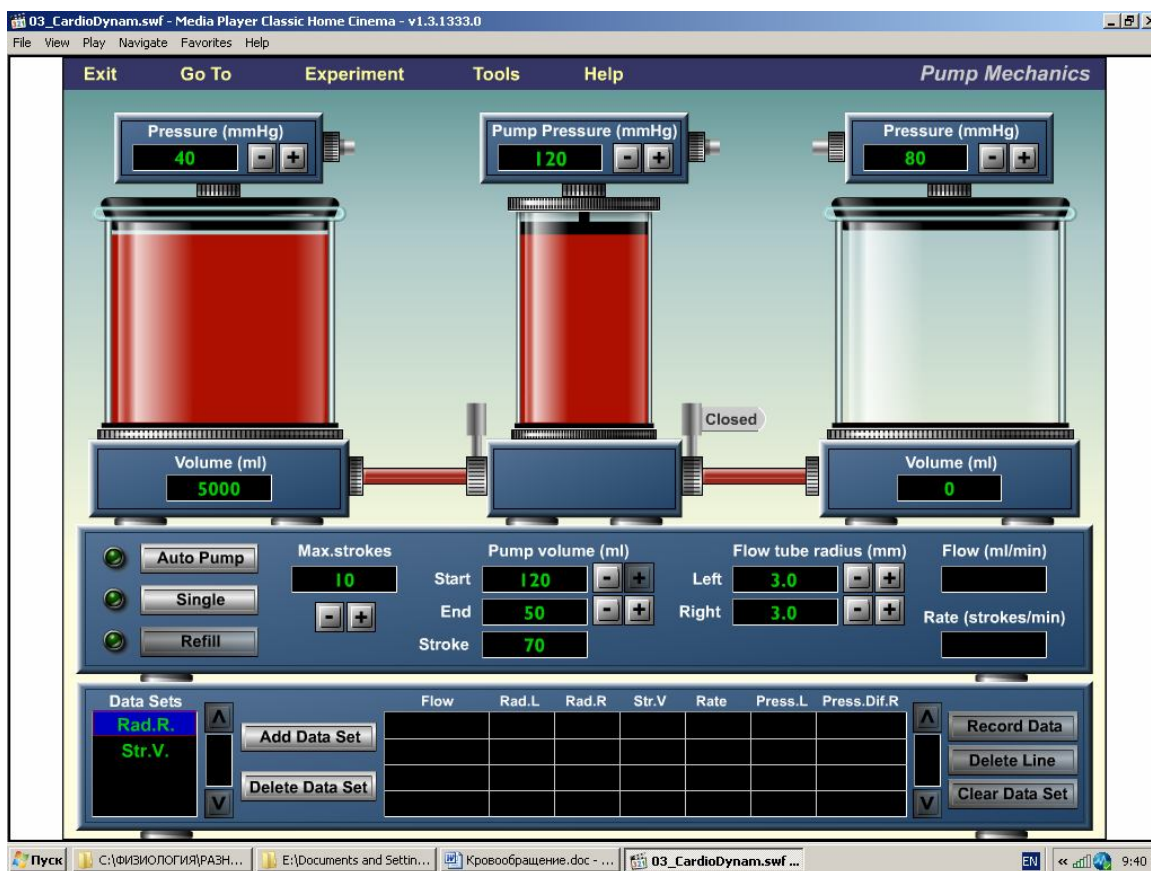
Оборудование для этого эксперимента станет видимым. Как и в предыдущем эксперименте, есть два моделируемых электронных блоки управления на экране компьютера. Верхний аппарат- *блок управления оборудованием*, который используется, чтобы регулировать параметры. Нижний аппарат – *блок сбора данных*, в котором вы будете делать запись результатов эксперимента.

Это оборудование немного отличается от того, которое использовалось в предыдущем эксперименте.

Есть две емкости: *исходная емкость* слева и *емкость предназначения* справа. Давление в каждой емкости индивидуально управляется датчиками давления на вершине емкостей. Между этими емкостями есть простой насос, который имитирует одну сторону сердца (например, левый желудочек). Левая емкость и входная труба представляют венозную сторону человеческого потока крови, в то время как артериальное обращение моделируется правой трубой потока и правой емкостью. Односторонние клапаны в трубах гарантируют движение жидкости в одном направлении — от левой емкости в насос, и затем в правую емкость. Если Вы воображаете, что насос представляет левый желудочек, думайте о клапане налево от насоса как

митральный клапан и клапан направо от насоса как аортальный полулунный клапан. Насос развивает давление, установленное на его вершине.

Рис. 2. Модельная установка для изучения насосной функции сердца.



Важное различие между давлением насоса и давлением в емкостях заключается в том, что насос развивает давление лишь в течение его движения вниз. Вверх насос возвращает давление от левой емкости (насос не проявляет никакого сопротивления, току жидкости от левой мензурки в течение заполнения насоса). Напротив, давление в правой емкости работает против давления насоса, что означает, что чистое давление, нагнетающее жидкость в правую емкость (рассчитывается автоматически), равно разнице между давлением насоса и давлением в правой емкости. Эта величина будет показана в таблице данных эксперимента как **Pres. Dif. R.**

Щелчок кнопкой **Auto Pump** запускает насос для выполнения цикла движений с числом, обозначенным в максимальном окне ударов. При щелчке кнопки **Single** насос осуществляет один удар. В течение эксперимента, параметры потока автоматически показываются, когда число ударов насоса 5 или больше.

Радиус каждой трубы потока индивидуально управляется щелчком соответствующей кнопки. Щелкните плюс кнопки, чтобы увеличить радиус трубы потока или минус кнопки для уменьшения радиуса трубы потока.

Ударный объем насоса (количество жидкости, изгнанной при одном ударе) автоматически вычисляется, вычитанием его конечного объема от стартового объема. Вы можете регулировать стартовый и конечный объемы, и таким образом изменять ударный объем, щелкая плюс или минус на соответствующей кнопке в блоке управления оборудованием.

Таблица сбора данных делает запись результатов эксперимента.

Набор данных для первого эксперимента (Радиус, **Rad. R**), который представляет радиус правой трубы потока, выдвинут на первый план в окне **Data Sets**. Вы можете добавить или удалить установленные данные, щелкая соответствующей кнопкой направо от окна набора данных (**Data Sets**). Щелчок «Удалить набор данных»(**Delete Data Set**) сотрет все данные этого опыта. Кнопка **Record Data** в правом краю экрана автоматически активизирует запись после эксперимента. Когда щелкается кнопка «отчет данных» (**Record Data**) в таблице показываются параметры потока и они сохраняются в памяти компьютера. Щелчок на кнопке «удалить линию» (**Delete Line**) или на кнопке **Clear Data Set** стирает любые данные, которые Вы хотите удалить.

Не забывайте делать запись данных, которые накапливаются в экспериментальной сетке ценностей внизу средней части экрана.

Эксперимент 1:

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАДИУСА СОСУДОВ НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НАСОСА

Управляя радиусом правой и левой труб потока в этом упражнении, помните, что левая труба потока моделирует легочные вены и правая труба потока моделируют аорту.

Ход работы:

1. Провести начальную установку оборудования.
 - А. Щелкните **Rad.R** . в наборе данных, чтобы активизировать его. Таблица сбора данных теперь готова делать запись изменений потока из-за изменяющегося радиуса трубы потока.
 - Б. Если сетка данных эксперимента не пуста, щелкните **Clear Data Set** чтобы стереть все предыдущие данные.
 - В. Если левая емкость не полна, щелкните **Refill** .
2. Выставить радиус правой трубы - 2.5 мм, и радиус левой трубы потока - 3.0 мм, щелкая соответствующие кнопки.

Установите следующие условия эксперимента:

- давление в правой емкости - 40 мм (это давление обеспечивает поступление жидкости в насос, который не предлагает никакого сопротивления заполнению);
- давление насоса - 120 мм (давление насоса - это движущая сила, которая продвигает жидкость в правую емкость);
- давление в правой емкости - 80 мм (это давление оказывает сопротивление давлению насоса);
- стартовый объем - 120 мл (аналогичный EDV)
- конечный объем - 50 мл (аналогичный ESV)
- максимальное число ударов - 10 ударов

Заметьте, что показанный ударный объем (70 мл) автоматически рассчитан. Прежде чем начать, щелкните кнопкой **Single** один или два раза, и наблюдайте действие насоса.

Оценка результата эксперимента:

Чтобы убедиться, что Вы понимаете, как об этом простом механическом насосе можно думать как о модели человеческого сердца, закончите следующие утверждения, выбирая правильный термин в пределах круглых скобок:

- Когда поршень - у основания его путешествия, в сердце находится остающийся (EDV, ESV) объем.*
- Количество жидкости, изгнанной в правую мензурку каждым циклом насоса составляет (диастолический объем, систолический объем) сердца.*
- Объем крови в сердце перед систолой называют (EDV, ESV), и соответствует объему жидкости в моделируемом насосе, когда это поршень находится (в вершине, в основании) его удара.*

3. Щелкнуть кнопкой **Auto Pump** в блоке управления оборудования, чтобы начать работу насоса. После того, как пройдет 10 ударов, автоматически будут показаны результаты эксперимента. Теперь щелкните **Record Data**, чтобы полученные вами числа Вы только собрались в экспериментальной сетке ценностей.

Щелкните **Refill**, чтобы пополнить левую емкость.

4. Увеличивайте радиус правой трубы потока в приращениях на 0.5 мм и повторяйте шаг 3, пока не будет достигнут максимальный радиус (6.0 мм). Не забываете щелкнуть **Record Data** после каждого испытания.

Оценка результата эксперимента:

1. Параметры потока, которые Вы только что определили, зависят от значений потока в насос слева и значений потока из насоса к правой емкости. Следовательно, характеристики потока отличаются от тех, которые Вы могли бы предсказать после рассмотрения влияния радиуса на поток в предыдущем эксперименте.

2. Попробуйте объяснить, почему эти результаты отличаются от результатов изменения радиуса в эксперименте с сопротивлением сосудов. Помните, что величина потока в насос не изменялась, тогда как величина потока из насоса изменилась согласно вашим манипуляциям с радиусом.

3. Когда Вы закончите, щелкаете близкой коробкой наверху окна участка ?

4. Закончите следующие утверждения, выбирая правильное слово в пределах круглых скобок.

a. Когда радиус правой трубы потока увеличен, величина потока (увеличивается, уменьшается). Это имитирует (расширение, сжатие) кровеносных сосудов в человеческом теле.

b. Даже при том, что давление насоса остается постоянным, сила насоса (увеличивается, уменьшается), когда радиус правой трубы потока увеличен. Это происходит потому, что сопротивление потоку жидкости (увеличено, уменьшено).

5. Примените ваши наблюдения над моделью механического насоса, чтобы закончить следующие утверждения о сердечной функции человека. Если Вы не уверены в формулировке вашего ответа, используйте моделирование, чтобы достигнуть ответа.

c. Сердце должно заключить сокращаться (более, менее) сильно, чтобы обеспечить необходимый ударный объем, если сопротивление потоку крови в сосудах, приходящих к сердцу, увеличено.

d. При увеличении сопротивления (например, сжатием) кровеносных сосудов на входе в сердце, должно (увеличиться, уменьшиться), время заполнения полостей сердца.

6. Что случилось бы с величиной потока и силой насоса, если радиус правой трубы потока был бы изменен (или увеличен или уменьшен)?

Работа 2:

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УДАРНОГО ОБЪЕМА НА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАСОСА

Принимая во внимание, что сердце человека в покое качает приблизительно 60% крови, содержащейся в его полостях, 40 % общей суммы крови остается в полостях сердца после систолы. Эти 60 % крови, изгнанной сердцем, называют ударным объемом, и он определяется как разница между EDV и ESV. Хотя наш простой насос в этом эксперименте не работает точно так же, как человеческое сердце, Вы можете применить эти понятия к его работе. В этом эксперименте Вы исследуете, как меняется деятельность простого насоса при изменении стартового и конечного объемов.

Ход работы:

1. Щелкнуть **Str. V.**, чтобы активизировать набор данных этого эксперимента. Если сетка данных эксперимента не пуста, щелкните **Clear Data Set**, чтобы отказаться от всех предыдущих данных. Если левая емкость не полна, щелкните **Refill**.

2. Отрегулируйте ударный объем до 10 мл, установив начальный объем (EDV) - 120 мл и конечный объем (ESV) - 110 мл.

Установите следующие условия эксперимента:

- давление в левой емкости - 40 мм
- перекачивающее давление - 120 мм
- давление в правой емкости - 80 мм
- радиус левой и правой труб потока - по 3.0 мм
- максимальное число ударов (**max. strokes**) - 10 ударов

3. Щелкнуть кнопкой **Auto Pump**, чтобы начать эксперимент. После 10 ударов окна **Flow** и **Rate** покажут экспериментируйте результаты, данные текущих параметров. Щелкните **Record Data**, чтобы показать эти числа в сетке данных эксперимента. Щелкните **Refill** для пополнения левой емкости.

4. Увеличивайте ударный объем в приращениях на 10 мл (уменьшая конечный диастолический объем, EDV) и повторяйте шаг 3 до максимального значения ударного объема (120 мл). Убедитесь, что щелкнули кнопкой **Record Data** после каждого испытания.

Оценка результата эксперимента:

1. Что случилось с работой насоса, когда ее ударный объем удара был увеличен?

2. Используя ваши результаты моделирования как основание для вашего ответа, объясните, почему у атлета диастолический объем мог бы быть ниже, чем у среднего человека.

3. Применяя результаты моделирования к человеческому сердцу, предскажите эффект влияния увеличения ударного объема удара на величину минутного объема крови (при любой частоте сердечных сокращений).

4. Когда ЧСС увеличена, время желудочкового заполнения (увеличено, уменьшено), что приводит, в свою очередь, к (увеличению, уменьшению) ударного объема сердца.

5. Что, по Вашему мнению, могло бы случиться с давлением в насосе в течение его заполнения, если клапан в правой трубе потока стал прохудившимся? (Помните, что насос не оказывает сопротивления заполнению.)

6. Применяя эту концепцию к человеческому сердцу, что могло бы произойти в левом сердце и легочных кровеносных сосудах, если аортальный клапан стал прохудившимся?

7. Что произойдет, если отверстие аортального клапана станет немного уже (стеноз аортального клапана)?

8. В вашем моделировании, увеличение давления в правой емкости имитирует (прохудившийся, суженный) аортальный клапан.

Работа 3:

ИЗУЧЕНИЕ ОБЪЕДИНЕННЫХ ЭФФЕКТОВ

В этой части работы Вы установите ваши собственные экспериментальные условия, чтобы ответить на следующие вопросы. Тщательно исследуйте каждый вопрос, и решите, как установить параметры эксперимента, чтобы достигнуть ответа.

Щелкните кнопкой **Add Data Set** в единице собрания данных. Затем, создайте новые данные, устанавливая название «Объединенные» (написать **Combined** в появившемся окне). Созданный Вами набор данных будет показан ниже **Str. V**. Теперь щелкните линией **Combined**, чтобы активизировать набор данных. Когда Вы соберете данные для ответа на следующие вопросы, убедитесь, что щелкнули **Record Data** каждый раз, когда Вы имеете данные, которые необходимы Вам для составления.

Вопросы, требующие экспериментального подтверждения:

1. Как меняется величина потока, когда радиус правой трубы потока сохранен постоянным (в 3.0 мм) и радиус левой трубы потока изменен (увеличен или уменьшен)?

2. Как изменение радиуса трубы потока влияет на время заполнения насоса?

3. Это влияет на освобождение полости насоса?

4. Вы уже исследовали эффект изменения конечного диастолического объема как способ управления ударным объемом. Что случается с потоком и частотой ударов, когда вы удерживаете конечный систолический объем постоянным, и изменяете начальный объем, чтобы управлять ударным объемом?

5. Пробуйте управлять давлением в левой емкости. Как изменение давление в левой емкости влияет на величину потока? (Это изменение подобно изменению давления в легочных венах).

6. Если давление в левой емкости уменьшено до 10 мм, как меняется время заполнения насоса?

7. Что случается с частотой работы насоса, если время его заполнения сокращено?

8. Что случается с потоком жидкости, когда давление в правой емкости равняется давлению насоса?

Работа 4.

ИЗУЧЕНИЕ КОМПЕНСАЦИИ

Щелкните кнопкой **Add Data Set** в единице собрания данных. Затем, создайте новые данные набор по имени «компансация» (**Comp**). Созданный набор данных будет показан ниже **Combined**. Теперь щелкните линию **Comp**, чтобы активизировать набор данных. Поскольку Вы собираетесь получить данные для решения следующих вопросов, убедитесь, что щелкнули **Record Data** каждый раз, после получения очередной порции данных, которые Вы желаете сохранить для ваших отчетов.

Поставьте следующие экспериментальные условия:

- давление в левой емкости - 40 мм
- перекачивающее давление - 120 мм
- давление в правой емкости - 80 мм
- радиус левой и правой трубы потока - 3.0 мм
- число ударов - 10
- Стартовый объем - 120 мл

- конечный объем - 50 мл

Щелкните **Auto Pump** и затем делайте запись ваших данных параметров потока. Эти данные будем считать нормой.

Теперь уменьшите радиус правой трубы потока до 2.5 мм, и включите насос. Сравните полученные данные с "нормальными"

Оставьте радиус правой трубы потока равным 2.5 мм и попробуйте приспособить один или больше другие состояния, чтобы возвращать поток к "нормальному".

Попробуйте ответить на следующие вопросы:

1. Подумайте, какие условия гемодинамики могли бы компенсировать уменьшение радиуса трубы потока. Как бы Вы были способны это сделать? (Намек: есть несколько путей.)

2. Уменьшение радиуса правой трубы потока подобно частичной (утечке, блокировке) аортального клапана или (увеличению, уменьшению) сопротивления в артериальной системе.

3. Объясните, как человеческое сердце могло бы компенсировать такое состояние.

4. Если бы мы хотели увеличить (или уменьшить) поток крови к специфической системе тела (например, пищеварительный), что было бы лучше - приспосабливать частоту сердечных сокращений или диаметр кровеносного сосуда? Объясните.

5. Закончите следующие утверждения, выбирая правильный ответ. (Если необходимо, используйте моделирование насоса, чтобы помочь Вам с вашими ответами.)

a. Если мы уменьшили периферическое сопротивление в человеческом теле, сердце должно было бы произвести (большее, меньшее) давление, чтобы доставить адекватное количество крови, и артериальное давление было бы (выше, ниже).

b. Если диаметр артерий тела частично заполнен холестериновыми бляшками, сердце должно сокращаться (сильнее, слабее), чтобы поддержать поток крови, и давление в артериальной системе было бы (выше, ниже) чем в норме.

Когда Вы закончите со всеми экспериментами, Вы можете распечатать ваши зарегистрированные данные. Просто идите в **Инструменты**, и выберите «**Печать Данных**».