

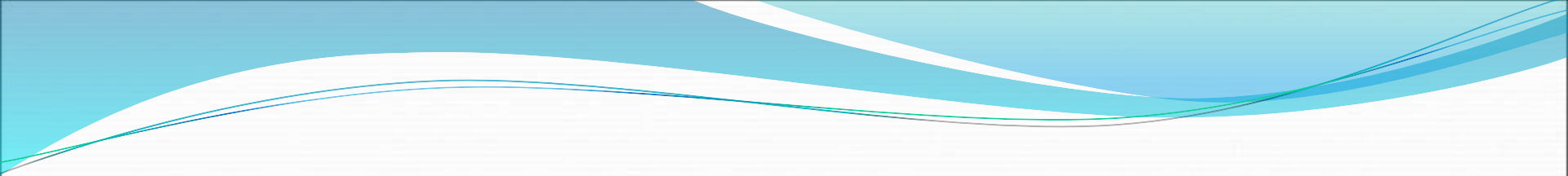


**ФГБОУ ВО
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра нормальной физиологии

Молекулярная физика

Автор: Панченко Е.И.



К жидкостям относят вещества, которые по своим свойствам занимают промежуточное положение между газами и твердыми телами.

Жидкие среды составляют наибольшую часть организма, их перемещение обеспечивает обмен веществ и снабжение клеток кислородом, поэтому механические свойства и течение жидкостей представляют особый интерес для медиков и биологов.

Гидродинамика — раздел физики, в котором изучают вопросы движения несжимаемых жидкостей и взаимодействие их при этом с окружающими твердыми телами.

Реология — учение о деформациях и текучести вещества.

Гемодинамика — раздел биофизики, использующий законы гидродинамики для описания движения крови в сердечно-сосудистой системе.

Для внутреннего строения жидкостей характерен ближний порядок в расположении молекул
(упорядоченное расположение ближайших частиц).

Расстояния между молекулами невелики, силы взаимодействия значительны, что приводит к малой сжимаемости жидкостей: небольшое уменьшение расстояния между молекулами вызывает появление больших сил межмолекулярного отталкивания.

Подобно твердым телам, жидкости мало сжимаемы и обладают большой плотностью,

Подобно газам, принимают форму сосуда, в котором находятся. Такой характер свойств жидкостей связан с особенностями теплового движения их молекул.

Идеальная жидкость — это модель жидкости несжимаемой, т. е. не изменяющей плотность при больших внешних давлениях, и молекулы которой взаимодействуют между собой только силами перпендикулярными течению жидкости.

Движение жидкости (течение) считается **установившимся (стационарным)**, если в каждой точке данного объема скорость ее частиц не изменяется со временем.

Стационарное течение может быть только **ламинарным**.

Течение жидкости называется **ламинарным**, если слои жидкости скользят друг относительно друга, не перемешиваясь (слоистое течение).

- медленное (малые скорости), упорядоченное;
- в сосудах с гладкими стенками;
- в артериях и венах в норме.



Течение, сопровождающееся образованием вихрей и перемешиванием слоев, называется **турбулентным**.

- быстрое (высокие скорости), хаотическое;
- сопровождается появлением звука (шума);
- в норме только в аорте;
- возникает в плечевой артерии при измерении давления крови.



Для идеальной жидкости при установившемся течении в различных сечениях трубки тока выполняется **условие неразрывной струи:**

$$S_1 V_1 = S_2 V_2 = S_3 V_3 = \dots = Q$$

S_i - площадь 1, 2, 3 и т. д. поперечных сечений,

V_i - скорость течения жидкости в 1, 2, 3 и т. д. сечении трубы,

Q - объем жидкости, проходящий в единицу времени через поперечное сечение трубы.

(Если сечение горизонтальной трубки уменьшается, то скорость течения жидкости возрастает так, чтобы произведение площади на скорость оставалось постоянной величиной).

Для идеальной жидкости справедливо **уравнение Бернулли**. В этом уравнении не учитывается вязкость жидкости.

Жидкость создает три вида давлений на стенки трубки: **гидростатическое**, обусловленное давлением столба жидкости, **статическое**, обусловленное ограничением трубки, **гидродинамическое**, обусловленное движением жидкости. В различных точках линии тока идеальной жидкости сумма давлений одинакова:

$$P + \rho gh + \rho V^2 / 2 = \text{const}$$

P - статическое давление,

ρgh - гидростатическое давление,

$\rho V^2 / 2$ - гидродинамическое давление.

Для реальной жидкости при течении в горизонтальной трубке постоянного сечения уравнение Бернулли не выполняется.

По ходу течения происходит падение статического давления.

Это явление объясняется наличием у реальных жидкостей внутреннего трения между слоями.

При течении реальной жидкости отдельные слои ее воздействуют друг на друга с силами, касательными к слоям. Это явление называют **внутренним трением или вязкостью**.

При ламинарном течении жидкости по трубе скорость слоев непрерывно меняется от максимальной (по оси трубы) до нуля (у стенок).

Сила внутреннего трения пропорциональна площади S взаимодействующих слоев и тем больше, чем больше их относительная скорость.

$$F_{\text{вн.тр.}} = \eta S \frac{dV}{dx}.$$

$F_{\text{вн.тр.}}$ - сила внутреннего трения,

η - коэффициент вязкости,

$\frac{dV}{dx}$ - градиент скорости,

S - площадь соприкосновения слоев.

Это уравнение Ньютона. Здесь η — коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом внутреннего трения, или динамической вязкостью (вязкостью).

Вязкость зависит от состояния и молекулярных свойств жидкости (или газа).

Физический смысл заключается в том, что он показывает зависимость силы внутреннего трения от природы вещества.

Коэффициент вязкости также зависит от температуры. С ростом температуры вязкость жидкости уменьшается, а газов увеличивается

Единицей вязкости является паскаль-секунда ($\text{Па} \cdot \text{с}$).

Ньютоновские жидкости

- Ньютоновские – подчиняются уравнению Ньютона.
- Для них вязкость (η) не зависит от градиента скорости (dv/dx), а зависит только от природы жидкости и температуры.
- Примеры: вода, спирт, плазма крови, низкомолекулярные органические жидкости.

Неньютоновские жидкости

- Неньютоновские – не подчиняются уравнению Ньютона.
- Для них вязкость (η) зависит еще от градиента скорости (dv/dx) и давления.
- Содержат структурные элементы, склонные к агрегации.
- Жидкости, состоящие из сложных и крупных молекул (растворы полимеров), и образующие благодаря сцеплению молекул или частиц пространственные структуры (вязкость при прочих равных условиях много больше, чем у простых жидкостей).
- Примеры: суспензии, эмульсии, растворы полимеров, кровь.

Формула Пуазейля

- Описывает ламинарное движение жидкостей по трубам.
- Зависимость объема жидкости Q , протекающей через горизонтальную трубу радиуса R за 1 с, определяется **формулой Пуазейля**:

$$Q = \frac{\pi R^4}{8\eta} \frac{p_1 - p_2}{l},$$

- η — вязкость жидкости;
- $p_1 - p_2$ - разность давлений, поддерживаемая на торцах трубы длиной

При заданных внешних условиях через трубу протекает тем больший объем жидкости, чем меньше ее вязкость и больше радиус трубы.

$\frac{p_1 - p_2}{l}$ - градиент давления,

$X = \frac{8\eta l}{\pi R^4}$ - гидравлическое сопротивление.

Если скорость течения превышает определенную величину, ламинарное течение переходит в турбулентное. Скорость при которой это происходит, называют критической скоростью и определяют ее из так называемого числа Рейнольдса.

Число Рейнольдса

- Характер течения жидкостей (ламинарное или турбулентное) зависит от свойств жидкости, скорости ее течения, размеров сосуда.
- Число Рейнольдса характеризует течение жидкости по трубе (сосуду):
$$Re = \rho_{ж} VD / \eta$$
- $\rho_{ж}$ — плотность жидкости,
- D — диаметр трубы,
- V — средняя по сечению трубы скорость течения.
- Безразмерное число.
- Re критическое : $Re_k \approx 2300$.
- Если $Re > Re_k$ - турбулентное движение
- Кинематическая вязкость: $\nu = \eta / \rho_{ж}$.

Вискозиметрия

- Совокупность методов измерения вязкости называется **вискозиметрией**, а используемые приборы – **вискозиметрами**.
- Капиллярный метод основан на формуле Пуайзеля и заключается в измерении времени протекания через капилляр жидкости известной массы под действием силы тяжести при определенном перепаде давлений.
- Метод падающего шарика используется в вискозиметрах, работающих на применении закона Стокса. В этом случае измеряют диаметр шарика и время падения на определенном отрезке трубы с жидкостью.

- Применяются также ротационные вискозиметры, в которых жидкость находится в зазоре между двумя соосными цилиндрами. Один из них (ротор) вращается, а другой неподвижен. Благодаря вязкости, на неподвижный цилиндр действует момент сил, величину которого и определяет коэффициент вязкости.
- Для определения вязкости крови используют вискозиметр Гесса с двумя капиллярами, в одном — вода, в другом — кровь. Вязкость крови определяется относительно вязкости воды.

Гемодинамика

- Система кровообращения представляет собой сложную гидродинамическую систему.
- Движение и давление крови носит колебательный характер вследствие периодичности функционирования сердца.
- Кровь обладает реологическими свойствами, т. е. имеет вязкость.

Уменьшение разности давлений определяется наличием гидравлического сопротивления.

Изначальная разность давлений создается работой сердца. Объем крови, выталкиваемый при сокращении сердца, называется **ударным объемом крови**.

Во время расслабления сердца (диастола) растянутые кровеносные сосуды спадают и потенциальная энергия растяжения сосудов переходит в кинетическую энергию тока крови.

Распространяющуюся по аорте и артериям волну повышенного давления, вызванную выбросом крови из левого желудочка в период систолы, называют пульсовой волной.

Скорость пульсовой волны в артериях равна 6-8 м/с.

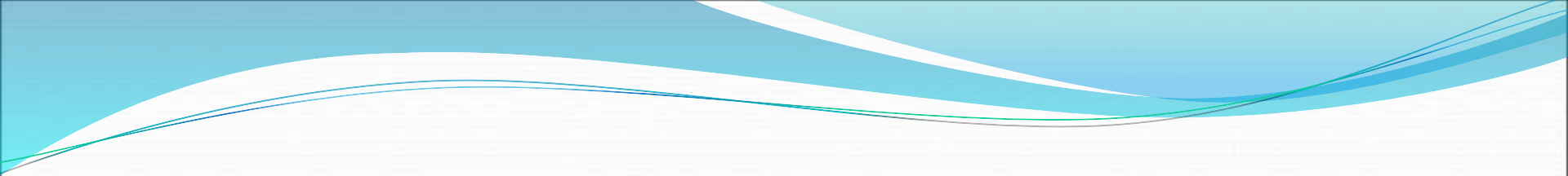
Изучение работы сердечно-сосудистой системы проводят на моделях кровообращения:

1. Гидродинамическая модель - состоит из упругого резервуара, в который поступает кровь из сердца и передается в периферическую систему.

2. На основе механической модели по аналогии может быть построена **электрическая модель**, в которой сердцу соответствует источник тока, действие конденсатора аналогично действию упругого резервуара, резистор является электрическим аналогом периферической сосудистой системы.

Физический параметр - **давление крови** – играет большую роль в диагностике многих заболеваний.

Бескровный метод основан на прослушивании шумов, создаваемых пульсовыми волнами. С помощью манжеты пережимают ток крови, а затем, выпуская воздух из манжеты, прослушивают начало шума, создаваемого турбулентным потоком крови, и регистрируют на манометре давление. Это **систолическое давление**. Когда шум исчезает, то давление соответствующее этому, называется **диастолическим давлением**.



Спасибо за внимание!