

Тема 27. Биофизические основы кровообращения

Сердечно-сосудистая система – это система органов, которая обеспечивает циркуляцию крови в организме. В состав сердечно-сосудистой системы входят сердце и кровеносные сосуды (рисунок 27.1).

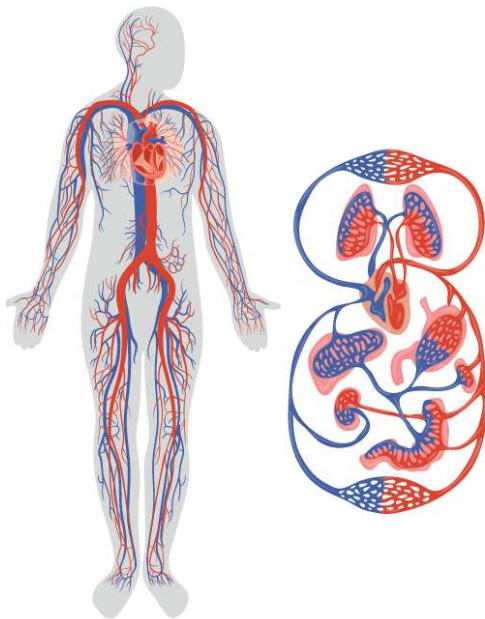


Рисунок 27.1. Сердечно-сосудистая система человека

Сердце – это мышечный орган, мотор, который перекачивает порядка 300 л крови в час.

Сосуды делятся на три вида:

- артерии, по которым кровь движется от сердца к различным частям тела;
- вены, по которым кровь от органов и тканей движется обратно к сердцу;
- капилляры, которые соединяют артерии и вены.

Кровь в организме человека движется по двум кругам кровообращения: большому и малому.

Большой круг кровообращения начинается в левом желудочке сердца. Из него богатая кислородом и питательными веществами кровь поступает в аорту, артерии, артериолы (самые маленькие артерии) и

капилляры. В капиллярах эритроциты (красные клетки крови) отдают кислород и забирают углекислый газ из тканей организма. Насыщенная углекислым газом кровь поступает в вены (самые маленькие вены), а потом в вены. По венам кровь движется к правому предсердию. Там завершается большой круг кровообращения.

Малый круг кровообращения служит для насыщения пришедшей по венам крови кислородом, он обеспечивает газообмен в лёгких.

Физическая модель сердечно-сосудистой системы представляет собой замкнутую разветвлённую систему эластичных трубок разного диаметра (сосудов), заполненную жидкостью (кровью). Движение жидкости происходит под действием нагнетательного насоса (сердца).

Физическая модель сердечно-сосудистой системы даёт возможность установить связь между ударным объемом крови (объём крови, который выбрасывает желудочек сердца за одно сокращение), гидравлическим сопротивлением периферийной части системы кровообращения и изменения давления в артериях.

Ударный (систолический) объём крови можно найти, разделив минутный объём на число сердечных сокращений в минуту. Наибольший систолический объём наблюдается при частоте сердечных сокращений от 130 до 180 удар/мин. При частоте сердечных сокращений выше 180 удар/мин систолический объём начинает сильно снижаться. В норме у здорового человека в покое ударный объём составляет примерно 70...100 мл.

Продвижение крови по сосудам достигается за счёт растяжения и сокращения стенок аорты и крупных сосудов. Процесс распространения колебаний по стенкам сосудов называется пульсовой волной. Пульсовая волна распространяется с определенной скоростью от аорты до капилляров. В капиллярах пульсовая волна гаснет. Скорость распространения пульсовой волны определяется по формуле Моенса–Кортвега:

$$v_{\text{пв}} = \sqrt{\frac{Eh}{2\rho r}},$$

где E – модуль Юнга стенки кровеносного сосуда;

h – толщина стенки кровеносного сосуда;

ρ – плотность стенки сосуда;

r – радиус просвета кровеносного сосуда.

Объём крови, протекающей по сосуду, зависит от разности давлений в начале и конце сосуда, а также от сопротивления, которое появляется в результате трения крови о стенки сосуда и вихревых токов, которые образуются в результате движения по неровным сосудам:

$$Q = \frac{p_1 - p_2}{R},$$

где Q – количество крови, выходящей из сердца;

$p_1 - p_2$ – разность давлений в начале и конце сосуда;

R – величина сосудистого сопротивления.

Если учесть, что давление крови в конце сосудистой системы практически равно нулю, то

$$Q = \frac{p}{R},$$

где p – среднее давление в аорте.

Следовательно,

$$p = Q \cdot R,$$

где p – давление;

Q – объём крови;

R – периферическое сопротивление.

Периферическое сопротивление определяется по формуле Пуазейля:

$$R = \frac{8l\eta}{\pi r^4},$$

где l – длина сосуда;

η – вязкость крови;

r – радиус сосуда.

Основными показателями гемодинамики являются:

- линейная скорость кровотока;
- объёмная скорость кровотока;
- давление на разных участках сосуда.

Линейная скорость кровотока – это скорость движения крови по сосуду. Единица измерения – см/с:

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\pi r^2},$$

где Q – объёмная скорость кровотока;

S – площадь поперечного сечения сосуда;

r – радиус сосуда.

Следовательно, при постоянном значении объёмной скорости кровотока линейная скорость уменьшается с увеличением площади поперечного сечения. Суммарное поперечное сечение капилляров в 500–600 раз больше сечения аорты, поэтому кровь в аорте движется 500–600 раз быстрее, чем в капиллярах. Скорость кровотока в аорте равна 40...50 см/с, в капиллярах – 0,05...0,06 см/с, в крупных артериях и венах – 15...20 см/с (рисунок 27.2).

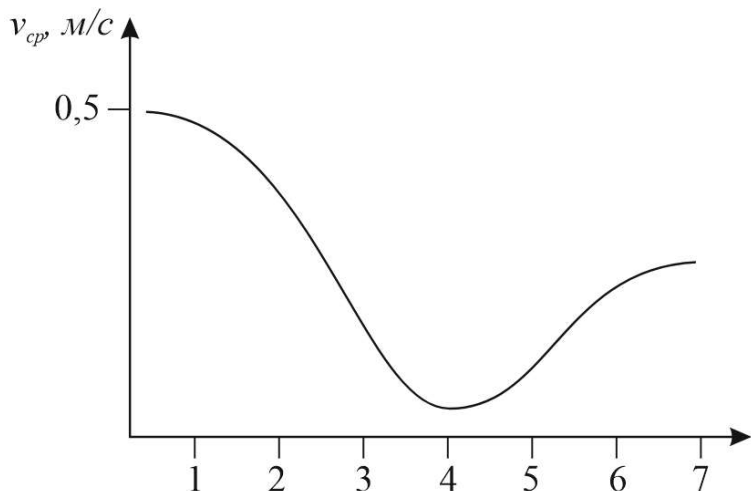


Рисунок 27.2. Скорость кровотока в: 1 – аорте, 2 – артериях, 3 – артериолах, 4 – капиллярах, 5 – венулах, 6 – венах, 7 – полых венах

Объёмная скорость кровотока Q – это количество крови, которое протекает через кровеносную систему за 1 мин. Объёмная скорость кровотока в каком-либо отделе кровеносного русла равна отношению разности среднего давления в артериальной и венозной частях этого отдела к гидродинамическому сопротивлению:

$$Q = \frac{p_1 - p_2}{R},$$

где Q – объёмная скорость кровотока;

$p_1 - p_2$ – разности среднего давления в артериальной и венозной частях;

R – величина сосудистого сопротивления.