

Падение среднего давления крови вдоль сосудов может быть описано законом Пуазейля (9.5, а). Сердце выбрасывает кровь под средним давлением $P_{ср}$. По мере продвижения крови по сосудам среднее давление падает. Поскольку $Q = \text{const}$, а $w_{\text{кап}} > w_{\text{арт}} > w_{\text{аорт}}$, то для средних значений давлений:

$$\Delta P_{\text{кап}} > \Delta P_{\text{артерий}} > \Delta P_{\text{аорт}}.$$

В крупных сосудах среднее давление падает всего на 15 %, а в мелких на 85 %. Это означает, что большая часть энергии, затрачиваемой левым желудочком сердца на изгнание крови, расходуется на ее течение по мелким сосудам.

Распределение давления (превышение над атмосферным) в различных отделах сосудистого русла представлено на рис. 9.5. Отрицательное значение давления означает, что оно несколько ниже атмосферного.

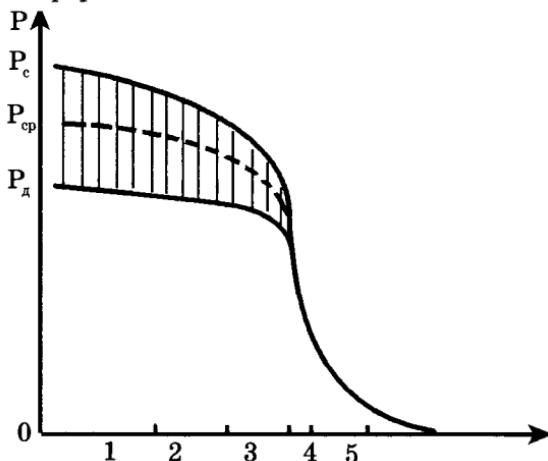


Рис. 9.5. Распределение давления (превышение над атмосферным) в различных участках сосудистого русла (штриховкой обозначена область колебания давления, пунктиром – среднее давление);
1 – давление в аорте, 2 – в крупных артериях, 3 – в мелких артериях,
4 – в артериолах, 5 – в капиллярах

§ 36. Биофизические функции элементов сердечно-сосудистой системы

В 1628 г. английский врач В. Гарвей предложил модель сосудистой системы, где сердце служило насосом, прокачивающим кровь по сосудам. Он подсчитал, что масса крови, выбра-

сываемой сердцем в артерии в течение нескольких часов, значительно превышает массу человеческого тела. Отсюда Гарвей сделал вывод, что в сердце, играющее роль гидравлического насоса, многократно поступает одна и та же кровь.

Схематично сердечно-сосудистую систему можно представить следующим образом (рис. 9.6).

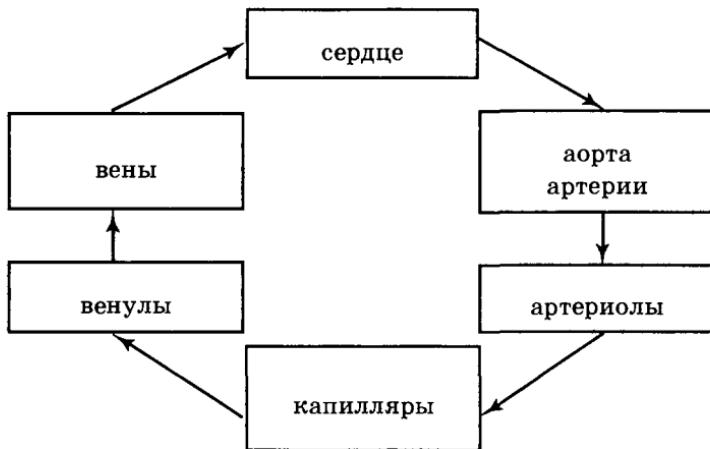


Рис. 9.6. Схематичное изображение сердечно-сосудистой системы

Рассмотрим кратко физическую функцию каждого элемента системы.

Основная функция сердечно-сосудистой системы – обеспечение непрерывного движения крови по капиллярам, где происходит обмен веществ между кровью и тканями. Артериолы – резистивные сосуды. Легко изменяя свой просвет, они регулируют гемодинамические показатели кровотока в капиллярах. Артериолы – “краны” сердечно-сосудистой системы.

Сердечно-сосудистая система замкнута, поэтому для обеспечения течения крови в ней должен быть периодически действующий насос. Эту роль выполняет сердце. Периодическое поступление крови из сердца превращается в постоянное поступление ее в мелкие сосуды с помощью крупных сосудов: часть крови, поступающей из сердца во время систолы, резервируется в крупных сосудах благодаря их эластичности, а затем во время диастолы выталкивается в мелкие сосуды. Крупные сосуды являются согласующим элементом между сердцем и мелкими сосудами. При этом аорта и артерии выполняют роль проводников, позволяя подводить кровь к различным частям тела. По венам кровь возвращается в сердце.

Активная деятельность сердца вызывает сложное пространственно-временное распределение гемодинамических параметров в сердечно-сосудистой системе.

В системе одновременно протекают разнородные процессы, взаимосвязанные друг с другом: *поступление крови* из левого желудочка сердца в аорту и кровоток по сосудам; *изменение давления* крови и механических напряжений в стенках сосуда; *изменение объема* и формы элементов сердечно-сосудистой системы. Точно решить задачу поведения кровотока в такой системе весьма затруднительно. Упрощая систему при моделировании, можно описать отдельные аспекты гемодинамических процессов.

§ 37. Кинетика кровотока в эластичных сосудах.

Пульсовая волна. Модель Франка

Одним из важных гемодинамических процессов является распространение пульсовой волны.

Если регистрировать деформации стенки артерии в двух равноудаленных от сердца точках, то окажется, что деформация сосуда дойдет до более удаленной точки позже, то есть по сосуду распространяется волна пульсовых колебаний объема сосуда, давления и скорости кровотока, однозначно связанных с друг другом. Это так называемая пульсовая волна.

Пульсовая волна – процесс распространения изменения объема вдоль эластичного сосуда в результате одновременного изменения в нем давления и массы жидкости.

На рис. 9.7, *a* приведены изменения объема сосуда для нескольких последовательных моментов времени.

Рассмотрим характеристики пульсовой волны. Амплитудой пульсовой волны $P_0(x)$ (пульсовое давление) будем называть разность между максимальным и минимальным значениями давлений в данной точке сосуда. В начале аорты амплитуда волны $P_{0, \max}$ равна разности систолического P_c и диастолического P_d давлений: $P_{0, \max} = P_c - P_d$ (рис. 9.7б). Заштрихованная область – диапазон изменения давления в крупных сосудах в связи с распространением в них пульсовой волны. Затухание амплитуды пульсовой волны при ее распространении вдоль сосудов можно представить зависимостью:

$$P_0(x) = P_{0, \max} \cdot e^{-\beta x}, \quad (9.7)$$

где β – коэффициент затухания, увеличивающийся с уменьшением радиуса.