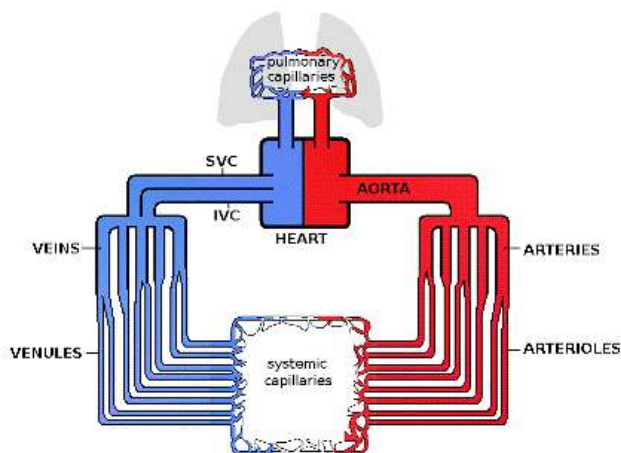


Условие

Задание 3. Гемодинамика - артериальная система.



Гемодинамика — движение крови по сосудам, возникающее вследствие разности гидростатического давления в различных участках кровеносной системы.

При расчете характеристик движения крови по сосудам будем использовать следующие упрощения: - все сосуды являются цилиндрическими, их форма остается неизменной при изменении давления крови; стенки сосудов не проницаемы для крови; - распределение давлений внутри кровеносной системы стационарно, т.е. не зависит от времени, иными словами вместо регулярных пульсаций, обусловленных сжатием сердца, рассматриваем усредненное по времени распределение давлений, давление, создаваемое сердцем, также считаем постоянным; - объем крови, протекающий в единицу времени через поперечное сечение (эта величина часто называется расход жидкости - q) цилиндрической трубы радиуса R и длины L , описывается формулой Пуазейля:

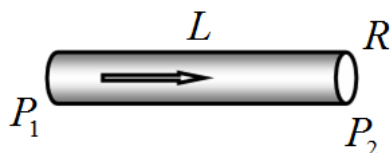
$$q = \frac{\pi R^4}{8\eta L} \Delta P, \quad (1)$$

где ΔP - разность давлений на концах трубы, η - коэффициент вязкости протекающей жидкости, если жидкость идеальная (в которой силами вязкого трения пренебрегают), то $\eta = 0$; можно считать, что формула (1) применима и для изогнутых труб; - кровь является несжимаемой вязкой жидкостью, плотность которой $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; вязкость крови $\eta = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$; - суммарный расход крови в большом круге кровообращения равен $q_0 = 6,0 \frac{\text{л}}{\text{мин}}$; - давление в 1 мм рт. ст. равно 133 Па.

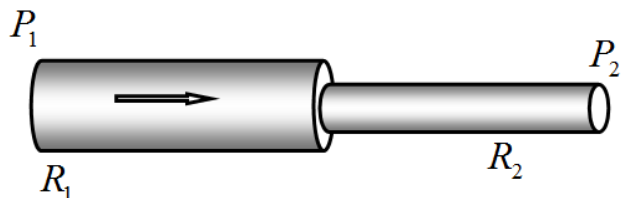
Артериальная система человека (по которой кровь поступает от сердца к мышцам и другим органам) состоит из системы разветвляющихся сосудов: аорта, крупные артерии, мелкие артерии, капилляры. Будем считать, что геометрические размеры всех сосудов в этих группах одинаковы; каждый более крупный сосуд разветвляется в одном месте на более мелкие сосуды (см. рисунок на заставке к задаче). Характеристики сосудов артериальной системы приведены в Таблице 1 Листов ответов. В этой таблице: d_i - диаметр сосуда, l_i - длина сосуда; n_i - число сосудов данной группы.

Часть 1. Предварительные расчеты.

Жидкость вязкости η протекает по цилиндрической трубе радиуса R и длины L , расход жидкости равен q .



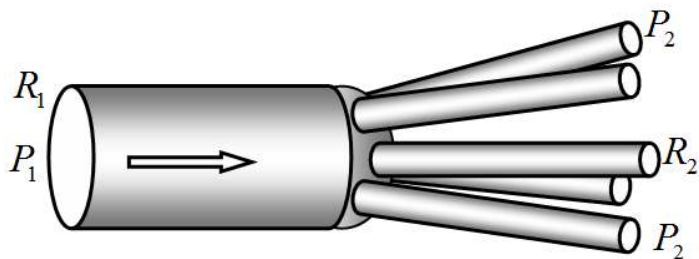
1.1 Получите формулы, описывающие следующие характеристики движения жидкости: 1.1.1 Среднюю по поперечному сечению скорость течения жидкости. 1.1.2 Среднее время движение порции жидкости по трубе. 1.1.3 Разность давлений жидкости на концах трубы $\Delta P = P_1 - P_2$. Жидкость протекает по трубе, состоящей из двух сочлененных труб, радиусы которых равны R_1 и R_2 , длины этих труб равны l_1 и l_2 . Плотность жидкости ρ , вязкостью жидкости можно пренебречь $\eta \approx 0$. Расход жидкости равен q .



1.2 Найдите, чему равна разность давлений $\delta P = P_1 - P_2$ на концах трубы. Укажите область, в которой происходит этот скачок давлений.

Далее можете считать, что полученная формула для скачка давления применима и для вязких жидкостей.

По описанной выше сочлененной трубе протекает жидкость, вязкость которой равна η . На концах трубы поддерживается постоянная разность давлений $\Delta P = P_1 - P_2$.



1.3 Рассчитайте расход жидкости по этой трубе. Ответ выразите, через разность давлений, вязкость жидкости и геометрические размеры трубы.

Жидкость, вязкостью которой можно пренебречь, протекает по системе труб, состоящей из одной трубы радиуса R_1 и n одинаковых труб меньшего радиуса R_2 . Расход жидкости через эту систему (равный расходу в первой трубе) равен q .

1.4 Найдите, чему равен скачок давлений на стыке труб $\delta P = P_1 - P_2$.

Полученную формулу также можно применять для вязкой жидкости.

Часть 2. Характеристики кровотока в артериальной системе человека.

Будем считать, что артериальная система заканчивается на середине капилляров (далее начинается венозная система).

2.1 Используя приведенные в условии данные, рассчитайте для каждой группы сосудов следующие характеристики (численные результаты занесите в соответствующие графы Таблицы 2 в Листах ответов): 2.1.1 Среднюю скорость течения крови по сосудам этой группы. 2.1.2 Среднее время движения крови по артериальной системе. 2.1.3 Разность давлений на концах сосудов каждой группы (для капилляров – между началом капилляра и его серединой). 2.1.4 Скачки давлений при переходе от одной группы сосудов к следующей. 2.1.5 Общую разность

давлений в артериальной системе человека, от входа аорты до середины капилляра.

2.2 Сравните полученное значение разности давлений со средним сердечным давлением $p \approx 100$ мм рт. ст. Кратко объясните возникшее противоречие – выскажите предположение о том, как все-таки работает кровеносная система?



Республиканская физическая олимпиада 2023 года

(Заключительный этап)

Теоретический тур

Листы ответов