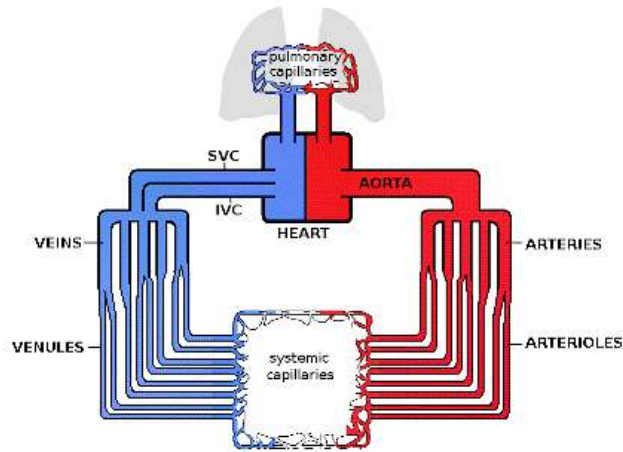


Гемодинамика - артериальная система

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 вме-

сто 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:

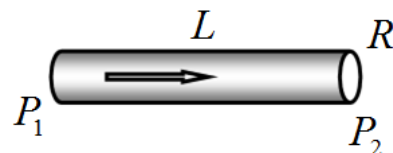
$$q = \frac{\pi R^4}{8\eta L} \Delta P, \quad (1)$$

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 .

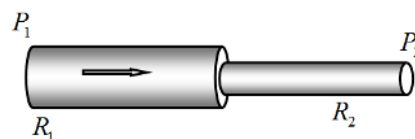


1.1 Получите формулы, описывающие следующие характеристики движения жидкости: 1.1.1 Среднюю по поперечному сечению скорость течения жидкости. 1.1.2 Среднее время движение порции жидкости по трубе. 1.1.3 Разность давлений жидкости на концах трубы $\Delta P = P_1 - P_2$.

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.

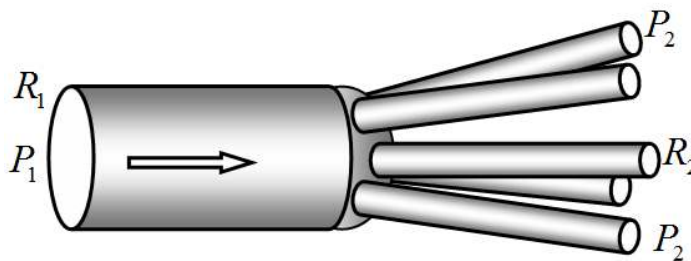
Далее можете считать, что полученная формула для скачка давления применима и для вязких жидкостей.



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?

