

УДК 533.6.011.6: 611.23

А.А.Хрущенко (асп., каф. КТиЭТ), К.М.Арефьев, д.т.н., проф.

РАСЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОРОДА В АЛЬВЕОЛАХ ЛЕГКИХ С ТЕЧЕНИЕМ ВРЕМЕНИ

Газообмен кислородом между воздухом и кровью осуществляется в альвеолах легких, куда воздух проникает по бронхам, достигая оптимальной влажности и температуры. Рассмотрим кислородный массообмен в альвеолах легких. В газовой фазе с достаточно хорошей скоростью происходит перемешивание воздуха и концентрация кислорода по объему альвеолы одинакова. Однако имеется диффузионное сопротивление подводу кислорода к крови через стенки капиллярных кровеносных сосудов, а также через плазму к эритроцитам. В данном процессе имеет существенное значение скорость поглощения кислорода гемоглобином эритроцитов. Изменение концентрации кислорода в газовой фазе альвеол с учетом передачи кислорода в кровь можно описать уравнениями:

на вдохе –

$$V \cdot dY/dt + Y \cdot dV/dt = Y_B \cdot dV/dt - S \cdot \alpha \cdot D \cdot (Y - Y_{кр}), \quad (1)$$

на выдохе –

$$V \cdot dY/dt + Y \cdot S \cdot \alpha \cdot D = S \cdot \alpha \cdot D \cdot Y_{кр}. \quad (2)$$

Здесь $Y_B = P_B/P$ – относительное парциальное давление кислорода во вдыхаемом воздухе, P – атмосферное давление; Y – текущее относительное парциальное давление кислорода в альвеолах; $V = V(t)$ – изменение объема вдыхаемого воздуха, см^3 ; t – время, с; α – растворимость газа в ткани стенки капилляра альвеолы; S – общая капиллярная поверхность легкого, см^2 ; $D = K \cdot D_L$, $\text{см}^2/\text{с}$; K – пересчетный коэффициент, $D_L = D_M \theta V_C / (D_M + \theta V_C)$ – диффузионная способность легких $\text{см}^3/\text{мин} \cdot \text{мм рт.ст.}$, D_M – диффузионная способность мембраны ткани, включая мембрану эритроцита, $\text{см}^3/\text{мин} \cdot \text{мм рт.ст.}$; θ – скорость реакции кислорода с гемоглобином крови, $\text{см}^3/\text{мин} \cdot \text{мм рт.ст.} \cdot \text{см}^3$; V_C – объем капиллярной крови, см^3 ; $Y_{кр} = P_{кр}/P$ – относительное парциальное давление (напряжение) кислорода в крови.

Изменение парциального давления (напряжения) кислорода в капилляре с течением времени находится из решения дифференциального уравнения:

$$\pi \cdot d_\kappa^2 \cdot dY_{кр} / 4 \cdot dt = \pi \cdot d_\kappa \cdot D \cdot (Y - Y_{кр}), \quad (3)$$

где d_κ – диаметр капилляра, см.

Величина D_L определяется из задания конкретных величин D_M , V_C и изменения θ в зависимости от величины относительного парциального давления (напряжения) кислорода в крови [1]. Для упрощения решения уравнения (3) кривую $D_L(Y_{кр})$, используя опытные данные [2] по зависимости θ от насыщения гемоглобина кислородом, можно аппроксимировать прямой $D_L = a_i Y_{кр} + b_i$, где a_i и b_i соответствуют определенным значениям D_M и V_C . Тогда решение уравнения (3) выглядит следующим образом:

$$Y_{кр} = (Y - b_i C \exp(-A \cdot t)) / (1 + a_i C \exp(-A \cdot t)), \quad (4)$$

где $C = (Y - Y_{кр}^0) / (a_i Y_{кр}^0 + b_i)$; $A = 4K(a_i Y + b_i) / d_k$.

Для проведения расчетов по уравнениям (1) и (2) задаем начальное парциальное давление кислорода в альвеоле $Y = 0.07$, а также параметры $D_M = 25 \text{ см}^3 / \text{мин} \cdot \text{мм рт.ст.}$ и $V_C = 100 \text{ см}^3$, характеризующие легкие. Парциальное давление кислорода в крови при входе в капилляр $Y_{кр}^0 = 0.053$ известно из литературы [2]. Используя решение (4), находим изменение $Y_{кр}$ в капилляре с течением времени и подставляем в осредненное значение произведения $\overline{D(Y - Y_{кр})}$. После этого переходим к вычислению парциального давления кислорода в альвеоле из решения уравнения (1) на вдохе и (2) на выдохе. Таким образом, получаем кривую изменения парциального давления кислорода в альвеоле с течением времени для случая, когда содержание кислорода в воздухе соответствует $Y_B = 0.21$. Эта кривая представлена на рис. 1.

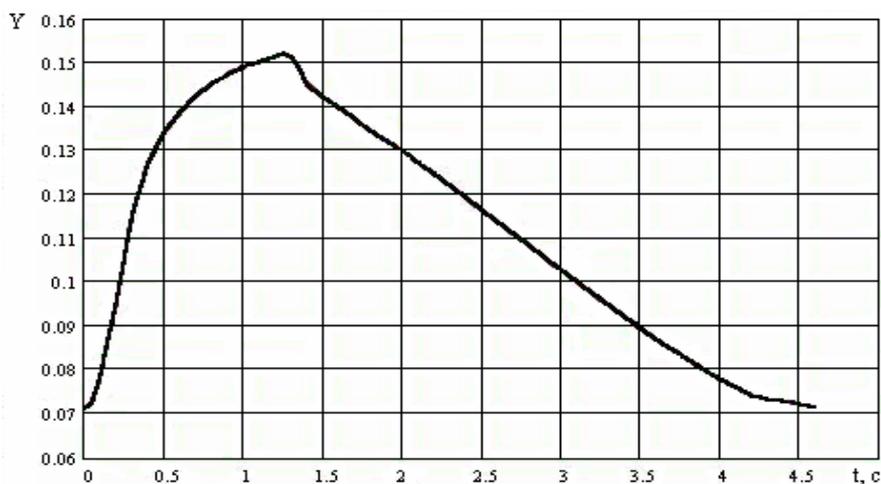


Рис. 1. График изменения парциального давления кислорода в альвеоле с течением времени

Можно также следить за изменением концентрации кислорода при различных начальных условиях и D_M , V_C . Данные результаты могут использоваться в медицине при постановке различных операций, связанных с искусственной вентиляцией легких.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Wagner P. D. Diffusion and Chemical reaction pulmonary gas exchange. *Physiol Rev.*, 1977 vol. 57 pp. 257-311.
2. Грипп Майкл А. Патофизиология легких. М.- СПб., 2001.
3. Хрущенко А. А. Арефьев К. М. Теплообмен и массообмен кислородом в легких человека. //Материал межвузовской научной конференции “XXVIII неделя науки СПбГПУ”. СПб., 2003.