

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<sup>3</sup>;  $t$  – время, с;  $\alpha$  – растворимость газа в ткани стенки капилляра альвеолы;  $S$  – общая капиллярная поверхность легкого, см<sup>2</sup>;  $D = K \cdot D_L$ , см<sup>2</sup>/с;  $K$  – пересчетный коэффициент,  $D_L = D_M \theta V_C / (D_M + \theta V_C)$  – диффузионная способность легких см<sup>3</sup>/мин · мм рт.ст.,  $D_M$  – диффузионная способность мембраны ткани, включая мембрану эритроцита, см<sup>3</sup>/мин · мм рт.ст.;  $\theta$  – скорость реакции кислорода с гемоглобином крови, см<sup>3</sup>/мин · мм рт.ст. · см<sup>3</sup>;  $V_C$  – объем капиллярной крови, см<sup>3</sup>;  $Y_{кр} = P_{кр}/P$  – 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  $d_\kappa$  – диаметр капилляра, см.

Величина  $D_L$  определяется из задания конкретных величин  $D_M$ ,  $V_C$  и изменения  $\theta$  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  $\theta$  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.

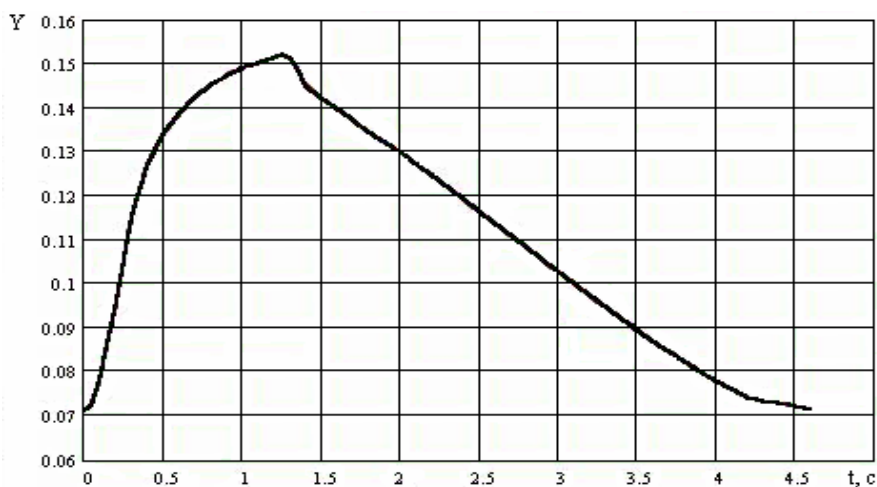


Рис. 1. График изменения парциального давления кислорода в альвеоле с течением времени

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.