

М. А. ХАНИН, И. Б. БУХАРОВ, А. С. КОССОВ

О МЕХАНИЗМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДИФФУЗИОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ ЛЕГКИХ

(Представлено академиком Л. А. Арцимовичем 5 II 1971)

Как известно, диффузионная проводимость легких изменяется в 2—3 раза при изменении условий транспорта кислорода. Это может быть объяснено только изменением площади альвеолярно-капиллярной мембраны. В свою очередь, последнее можно связать или с увеличением диаметра капилляров или их числа или с совместным действием обоих факторов. Имеющиеся экспериментальные данные свидетельствуют, что изменение диаметра капилляров играет второстепенную роль в механизме изменения диффузионной проводимости ^(1, 2).

Наиболее вероятны два механизма, обеспечивающие изменение числа открытых капилляров:

а) гуморальное регулирование, приводящее к изменению числа открытых капилляров при фиксированном давлении крови в капиллярах;

б) гидравлическое регулирование, приводящее к изменению числа открытых капилляров за счет соответствующего изменения давления крови в капиллярах.

При состояниях, требующих длительного повышения диффузионной проводимости, основную роль должен играть гидравлический механизм ⁽³⁾.

При количественном описании гидравлического механизма регулирования диффузионной проводимости легких может быть введена функция распределения капилляров $\varphi(P^*)$ по давлению крови на входе в капилляры, при котором капилляры открываются. Таким образом, dN — число капилляров, которые открываются при увеличении давления на входе в капилляр от P^* до $P^* + dP^*$, определяется выражением

$$dN = \varphi(P^*) dP^*.$$

Строго говоря, под P^* следует понимать давление крови перед участком сосудистого русла, регулирующим открытие одного капилляра или их группы. Полное число капилляров, открытых при давлении крови P^* ,

$$N(t) = \int_0^{P^*} \varphi(P) dP. \quad (1)$$

Давление крови P^* является периодической функцией времени и зависит от параметра P_m , характеризующего гидравлический режим легочного кровообращения. В качестве параметра P_m удобно использовать среднее по времени давление крови в легочной артерии.

Выражение (1) определяет число открытых капилляров в момент t ; среднее по времени число открытых капилляров

$$\bar{N} = \frac{1}{T} \int_0^T dt \int_0^{P^*(P_m, t)} \varphi(P) dP. \quad (2)$$

Уравнение (2) позволяет найти функцию распределения $\varphi(P)$ при следующих упрощающих предположениях.

1. Зависимость среднего числа открытых капилляров $\bar{N}$ от среднего давления крови в легочной артерии P_m , полученная путем обработки экспериментальных данных, приведенных в (10), аппроксимируется функцией

$$N(P_m) = \alpha N_0 [1 - e^{-\sigma P_m}]^2, \quad (3)$$

где N_0 — среднее число открытых капилляров при нормальном давлении в легочной артерии; $\alpha = 4$; $\sigma = 5,5 \cdot 10^{-2}$ (мм рт. ст.)⁻¹.

2. Давление на входе в участок сосудистого русла, регулирующего открытие капилляров, предполагается равным давлению в легочной артерии.

3. Зависимость $P^*(P_m, t)$, полученная путем обработки экспериментальных данных, приведенных в (11-14), аппроксимируется функцией

$$P^*(P_m, t) = \begin{cases} P_m(-9t^2 + 6t + 0,5), & 0 \leq t \leq 1/2 T; \\ P_m(3t^2 - 6t + 3,5), & 1/2 T \leq t \leq T. \end{cases}$$

4. Частота сокращений сердца предполагается постоянной.

Решение уравнения (2) ищем в виде ряда по степеням $\xi = \sigma P$

$$\varphi(\xi) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \xi^n. \quad (4)$$

Разлагая функцию $N(P_m)$ в ряд по степеням $x = \sigma P_m$

$$N(P_m) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n x^{n+1}, \quad (5)$$

где

$$a_n = (-1)^{n+1} 8N_0 \frac{2^n - 1}{(n+1)!},$$

подставляя (4) и (5) в (2) и приравнявая коэффициенты при одинаковых степенях x , находим

$$b_n = (-1)^{n+1} 8N_0 \frac{2^n - 1}{n! (K_n + L_n)}, \quad (6)$$

где

$$K_n = \int_0^{1/2 T} (-9t^2 + 6t + 0,5)^{n+1} dt, \quad L_n = \int_{1/2 T}^T (3t^2 - 6t + 3,5)^{n+1} dt.$$

Таким образом, решение интегрального уравнения (2) имеет вид

$$\varphi(P) = 8N_0 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{2^n - 1}{n! (K_n + L_n)} (\sigma P)^n. \quad (7)$$

На рис. 1 представлена функция распределения $\varphi(P)$. Можно предположить, что гуморальные воздействия приводят к сдвигу функции распределения вдоль оси P .

Рассматриваемый метод позволяет также построить функцию распределения $\psi(P)$ капилляров по среднему по времени давлению крови, при котором они открываются. Соответствующее уравнение имеет вид

$$\bar{N}(P_m) = \int_0^{P_m} \psi(P) dP, \quad (8)$$

отсюда

$$\psi(P_m) = d\bar{N}(P_m) / dP_m = 2\alpha\sigma N_0 e^{-\sigma P_m} (1 - e^{-\sigma P_m}). \quad (9)$$

Функция $\psi(P_m)$ также представлена на рис. 1.

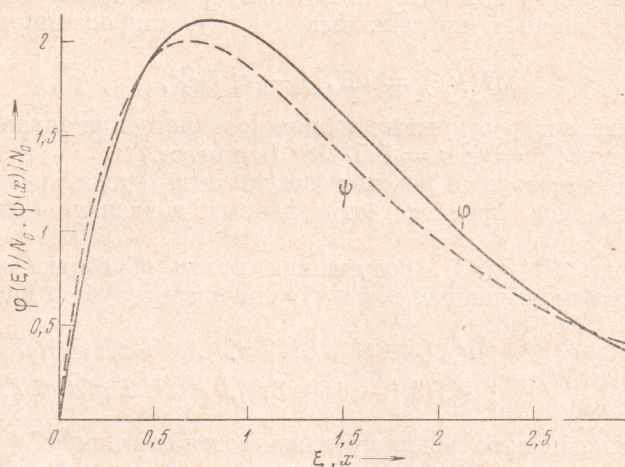


Рис. 1. Функция распределения числа открытых капилляров по давлению P крови в легочной артерии — ψ и по среднему давлению P_m в легочной артерии — ϕ

Авторы пользуются случаем выразить благодарность акад. Л. А. Арцимовичу за интерес к работе.

Поступило
19 V 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ R. G. Gregor, J. Physiol. (London), 80, 65 (1933). ² J. G. Ramos, Am. Rev. Tuberc., 71, 822 (1955).
- ³ H. N. Duke, W. Rose, J. Appl. Physiol., 18, 83 (1963).
- ⁴ R. P. Gilbert, L. B. Hinshaw, H. Kuido, Am. J. Physiol., 194, 160 (1958).
- ⁵ A. P. Fishman, Hand. Physiol., Sect. 2, Circulation 2, 1730 (1963).
- ⁶ B. M. Lewis, E. J. Hayford-Welsing, A. Furusho, J. Appl. Physiol., 16, 679 (1961).
- ⁷ J. Cruz-Jibaja, N. Bancharo, F. Sime, Diss. Chest., 46, 446 (1964).
- ⁸ A. C. De Graff jr., R. F. Grover, J. W. Hammond jr., Clin. Res., 13, 74 (1965).
- ⁹ J. Barcroft, The Respiratory Function on the Blood, 1, London, 1925.
- ¹⁰ R. M. Harvey, M. I. Ferrer, D. W. Richards jr., Am. J. Med., 10, 719 (1951).
- ¹¹ R. N. Westcott, N. O. Fowler, R. C. Scott, J. Clin. Invest., 30, 957 (1951).
- ¹² A. A. Liebow, H. R. Hales, W. Harrison, Yale J. Biol. Med., 22, 637 (1950).
- ¹³ R. A. Bloomfield, H. D. Lauson, A. Cournand, J. Clin. Invest., 25, 639 (1946).
- ¹⁴ L. G. Davies, J. F. Goodwin, B. D. Van Leuven, Brit. Heart. J., 16, 440 (1954).