



# Revista Colombiana de Anestesiología

## Colombian Journal of Anesthesiology

www.revcolanest.com.co



### Reflexión

## Flujo sanguíneo y ventilación pulmonares: ¿nuevo paradigma?

Pedro José Herrera Gómez<sup>a,\*</sup> y Gustavo Duarte<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Profesor Asistente, Anestesiología y Reanimación, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

<sup>b</sup> Estudiante de 3.º año, Posgrado Anestesiología y Reanimación, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

#### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

##### Historia del artículo:

Recibido el 20 de enero de 2013

Aceptado el 20 de agosto de 2013

On-line el 11 de octubre de 2013

##### Palabras clave:

Ventilación  
Perfusión  
Fractales  
Gravitación  
Pulmón

##### Keywords:

Ventilation  
Perfusion  
Fractals  
Gravitation  
Lung

#### R E S U M E N

La gravedad fue establecida como el factor determinante de las diferencias en la distribución de la ventilación y la perfusión pulmonares por John West, concepto que continúa exponiéndose hoy en día como principio básico de la fisiología pulmonar.

Las imágenes diagnósticas modernas permiten demostrar que la gravedad no es el factor determinante de estas diferencias, hecho que genera grandes interrogantes sobre los conceptos que, entre muchos otros, sustentan la ventilación mecánica, los modos ventilatorios y la ventilación unipulmonar en decúbito lateral durante la cirugía de tórax.

El presente artículo reflexiona sobre los recientes hallazgos de los estudios sobre perfusión y ventilación que cuestionan el paradigma de la gravedad como su determinante fundamental, y sobre sus implicaciones clínicas.

© 2013 Sociedad Colombiana de Anestesiología y Reanimación. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

#### Blood flow and pulmonary ventilation: New paradigm?

#### A B S T R A C T

Gravity was established as the determinant factor regarding differences in the distribution of ventilation and perfusion in the lung by John West, concept that continue to be exposed, up to day, as a basic principle of the lung physiology. The modern diagnostic images permit to demonstrate that gravity is not the determinant factor of these differences, a fact that generate big questions about concepts, among many others, support mechanical ventilations, ventilatory modes and one lung ventilation in lateral position during thoracic surgery. This article reflects on the recent findings of perfusion and ventilation studies that question the paradigm of gravity as its main determinant, and their clinical implications.

© 2013 Sociedad Colombiana de Anestesiología y Reanimación. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

\* Autor para correspondencia: Calle 142 # 6 – 80, Bogotá, Colombia.

Correo electrónico: [pjherrerag@unal.edu.co](mailto:pjherrerag@unal.edu.co) (P.J. Herrera Gómez).

## Introducción

Los trabajos de West y otros<sup>1-3</sup>, realizados con isótopos radioactivos de gases como el xenón, mostraron que la ventilación y la perfusión aumentaban en sentido cefálico-caudal, diferencias que se explicaron por los cambios en la presión pleural ocasionados por el peso mismo del pulmón, para la ventilación y por el efecto de la fuerza de la gravedad para la perfusión. La presión que mantiene los alvéolos abiertos, la presión transpleural, resulta de la diferencia entre la presión alveolar y la presión pleural. En la base la presión pleural se hace menos subatmosférica, resultando en alvéolos de menor volumen, con mayor distensibilidad y, en consecuencia, mayor ventilación relativa. La gravedad impone una mayor presión hidrostática a la sangre que desciende a las bases y una pérdida de presión a la que asciende a los ápices, dando origen a las zonas de West, conceptos acogidos en los textos clásicos de fisiología respiratoria<sup>4,5</sup>. Hallazgos posteriores demostraron que los cambios en los volúmenes pulmonares modifican el efecto de la gravedad<sup>6</sup>.

Con las técnicas imagenológicas utilizadas en los estudios pioneros de West se obtenían medidas de flujo sanguíneo cuyo promedio se aplicaba a zonas del parénquima pulmonar ubicadas en el mismo plano horizontal. Con las técnicas actuales de alta resolución, que permiten establecer diferencias muy pequeñas de flujo en un mismo plano horizontal, se demuestra una alta variabilidad del flujo sanguíneo de un mismo plano isogravitacional en cortes de 1 mm de espesor<sup>7</sup>. En cortes de 50 mm se observan cambios marcados en la perfusión y la ventilación en el plano vertical, relacionadas con la gravedad, sin diferencias en plano horizontal<sup>8</sup>, lo que explica los hallazgos de estudios precursores de West y otros posteriores. En contraste, los estudios de alta resolución, como la tomografía axial computarizada o la tomografía por emisión de positrones, han demostrado cambios en la distribución de la ventilación y la perfusión en planos isogravitacionales<sup>9</sup>.

## Diferencias en la ventilación

En un principio la distribución de la ventilación pulmonar se determinó mediante isótopos radiactivos de gases como el <sup>133</sup>Xe, cuya baja absorción lo hizo el elemento de elección. El rastreo del gas radiomarcado se efectuaba con detectores que proveían una imagen bidimensional de una estructura tridimensional altamente compleja como el pulmón. El uso de la tomografía de alta resolución muestra zonas con mayor ventilación en un mismo plano horizontal y hacia los hilios pulmonares<sup>10</sup>.

## Diferencias en la perfusión

La gravedad se consideró, entonces, el factor determinante para la distribución de la ventilación y el flujo sanguíneo pulmonares: en la medida en que nos alejamos, en sentido cefálico, de la arteria pulmonar su presión hidrostática disminuye resultando en una disminución del flujo sanguíneo hacia los ápices y aumenta hacia las bases donde el flujo sanguíneo será mayor<sup>11</sup>. Por otro lado, el peso propio del pulmón impone

cambios en la presión pleural y, en consecuencia, en el tamaño de los alvéolos, en su capacidad de distenderse y finalmente en su ventilación.

Estudios realizados en estados de gravedad cero, microgravedad e hipergravedad cuestionan estos postulados<sup>12,13</sup>. Montmerle et al.<sup>12</sup> encontraron diferencias en medidas subrogadas como las oscilaciones cardiogénicas, empleadas como indicador de la diferencia en la concentración de oxígeno y dióxido de carbono en las unidades pulmonares, y estas, a su vez, como reflejo de las diferencias en la perfusión pulmonar.

La evaluación de la distribución de la ventilación y la perfusión en cerdos realizada por Altemeier et al.<sup>14</sup> mediante análisis de varianza cuantificó la contribución de la estructura en las diferencias de la ventilación y la perfusión atribuyéndole un  $74,0 \pm 4,7\%$  para la ventilación y un  $63,3 \pm 4,2\%$  para la perfusión; la contribución de las fuerzas gravitacionales y de los cambios posturales carecería de la importancia fundamental que tradicionalmente se le atribuía.

Estudios posteriores<sup>10,14</sup> correlacionaron las diferencias encontradas en el flujo sanguíneo con el volumen de tejido pulmonar. En el análisis con resonancia magnética funcional y medición de la densidad regional de protones usando la técnica *Fast Low Angle SHot* (FLASH), Hopkins et al.<sup>15</sup> encontraron que cuando se normalizan las diferencias encontradas en la perfusión con la densidad de tejido, la distribución del flujo sanguíneo es uniforme a lo largo del pulmón. Es así como se propone el efecto Slinky: un resorte sujeto a la gravedad se deforma por su propio peso. El análisis con tomografía computarizada cuantitativa por emisión de fotones permite postular que las diferencias encontradas en la distribución del flujo sanguíneo y la ventilación también pueden ser debidas a las modificaciones que suceden en el parénquima pulmonar con los cambios de posición, que serían responsables, en mayor grado, de las diferencias. Las modificaciones ocasionadas por el cambio de supino a prono causan variaciones en la distribución del tejido pulmonar. A favor de esta teoría se encuentran las diferencias entre el decúbito lateral izquierdo y el derecho. En el primero el pulmón dependiente es el de menor volumen, y en estas condiciones los cambios en la ventilación y la perfusión no favorecen al pulmón dependiente.

Los experimentos de la última década han dado origen al modelo estructural de la fisiología pulmonar que sustituye el concepto de formación embriológica aleatoria de los vasos y bronquios pulmonares por un modelo fractal, cuya característica principal es la repetición de una estructura básica en la que la anatomía vascular y la bronquial obedecen a una relación matemática constante<sup>16-18</sup>. Desde los bronquios fuente comienza a observarse una división asimétrica de las vías aéreas; bronquio izquierdo/bronquio derecho igual a 0,8, que se continúa sin cambios hasta las últimas divisiones y que se repite en los vasos sanguíneos. Dicha división asimétrica sería la responsable principal de las diferencias en la ventilación y la perfusión pulmonares.

## Conclusiones

El modelo de West ha constituido el fundamento para el entendimiento de la distribución de la perfusión y de la ventilación pulmonares, tiene aplicación en variadas situaciones

médicas y de manera muy particular en los modos ventilatorios empleados en varios escenarios clínicos y quirúrgicos; baste recordar la ventilación con variación constante de la posición del paciente en diversas patologías, entre las que sobresale el SDRA y la anestesia para cirugía de tórax en decúbito lateral y ventilación unipulmonar sustentadas conceptualmente en los supuestos del modelo gravitacional.

Algunas revisiones secundarias concluyen que es positivo el efecto de la ventilación en decúbito prono en los pacientes con SDRA severo; con todo, esta información debe ser evaluada con cautela antes de integrarla a la práctica, dado que el beneficio obtenido puede ser superado por el riesgo de complicaciones relacionadas con la movilización del paciente, como extubación, pérdida de las líneas central o arterial y úlceras de presión. Adicionalmente, la ventilación en prono constituye una aproximación simplista a los modelos en cuestión; el problema del intercambio gaseoso está más probablemente relacionado con las alteraciones de la estructura pulmonar inherentes al SDRA, que, como ya se discutió, es el principal determinante de la relación ventilación-perfusión.

Estos nuevos hallazgos cuestionan la vigencia del modelo de West y generan interrogantes en cuanto a la fundamentación de las estrategias de ventilación utilizadas en las UCI y en cirugía construidas sobre aquellos supuestos. El nuevo modelo ha comenzado a generar estudios y debates científicos que deberán explicar, de una manera novedosa, los viejos conceptos. Mientras se implanta o falsea el nuevo paradigma, es forzoso continuar explicando muchas intervenciones médicas mediante el modelo gravitacional de West.

---

## Financiación

Recursos de los autores.

---

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

---

## REFERENCIAS

- West JB, Dollery CT, Naimark A. Distribution of blood flow in isolated lung: Relation to vascular and alveolar pressures. *J Appl Physiol.* 1964;19:713-24.
- West JB, Dollery CT. Distribution of blood flow and ventilation-perfusion ratio in the lung, measured with radioactive carbon dioxide. *J Appl Physiol.* 1960;15:405-10.
- Milic-Emili J, Henderson JAM, Dolovich MB, Trop D, Kaneko K. Regional distribution of inspired gas in the lung. *J Appl Physiol.* 1966;21:749-59.
- Moreno R, Ramases F. Manual de anestesia y medicina perioperatoria en cirugía torácica. Madrid: Ergon; 2009.
- Benumoff J. Anesthesia for Thoracic Surgery. 2nd ed. Philadelphia: WB Saunders; 1995.
- Hughes JM, Glazier JB, Maloney JE, West JB. Effect of lung volume on the distribution of pulmonary blood flow in man. *Respir Physiol.* 1968;4:58-72.
- Galvin I, Drummond GB, Nirmalan M. Distribution of blood flow and ventilation in the lung: Gravity is not the only factor. *Br J Anaesth.* 2007;98:420-8.
- Borrowes K, Tawhai M. Computational predictions of pulmonary blood flow gradients: Gravity versus structure. *Respir Physiol Neurobiol.* 2006;154:515-23.
- Petersson J, Rohdin M, Sánchez A, Nyrén S, Jacobsson H, Larsson S, et al. Regional lung blood flow and ventilation in upright humans studied with quantitative SPECT. *Respir Physiol Neurobiol.* 2009;166:54-60.
- Petersson J, Rohdin M, Sánchez A, Hans SN, Larsson S, Lindhal S, et al. Posture primarily affects lung tissue distribution with minor effect on blood flow and ventilation. *Respir Physiol Neurobiol.* 2007;156:293-303.
- West JB. Ventilation-perfusion inequality and overall gas exchange in computer models of the lung. *Respir Physiol Neurobiol.* 1969;7:88-110.
- Montmerle S, Sundblad P, Linnarsson D. Residual heterogeneity of intra and interregional pulmonary perfusion in short term microgravity. *J Appl Physiol.* 2005;98:2268-77.
- Hlastala MP, Chormuck MA, Self DA. Pulmonary blood flow redistribution by increased gravitational force. *J Appl Physiol.* 1998;84:1278-88.
- Altemeier WA, McKinney S, Krueger M, Glenny R. Effect of posture on regional gas exchange in pigs. *J Appl Physiol.* 2004;97:2104-11.
- Hopkins S, Cortney-Henderson A, Levin D, Yamada K, Arai T, Buxton R, et al. Vertical gradients in regional lung density and perfusion in the supine human lung: The Slinky effect. *J Appl Physiol.* 2007;103:240-8.
- Altemeier W, McKinney S, Glenny R. Fractal nature of regional ventilation distribution. *J Appl Physiol.* 2000;88:1551-7.
- Wagner W, Todoran T, Tanabe N, Wagner T, Tanner J, Glenny R, et al. Pulmonary capillary perfusion: Intra-alveolar fractal patterns and interalveolar dependence. *J Appl Physiol.* 1999;86:825-31.
- Capra F. The Web of Life — A New Scientific Understanding of Living Systems. New York: Anchor Books; 1996.