

Mecánica Ventilatoria en Pacientes con Eritrocitosis de Altura

Dra. Mercedes Villena, Dr. Enrique Vargas, Dra. Nancy Villena de Rodríguez,
Ing. Pierre Beaulieu *

INTRODUCCION

El año 1926 Von Neergard y Wistz se interesan en determinar las variaciones de la presión intrapulmonar en relación con el volumen pulmonar, y Rorher en la misma época estudia los fenómenos de turbulencia dentro de las vías aéreas. Ya en esa época y con más importancia después, numerosos anatomistas trataron de mostrar "modelos pulmonares" hechos en madera, piezas que trataban de representar la dinámica costal, en el curso del ciclo ventilatorio y por ende la expansión de las diferentes partes del tórax y de los pulmones.

En la actualidad y gracias al desarrollo cada vez más novedoso de los aparatos electrónicos, es posible realizar estudios de la mecánica ventilatoria.

ASPECTOS GENERALES:

Al final de una espiración normal, dos sistemas elásticos se encuentran en presencia: el del parénquima pulmonar que tiende a disminuir su volumen y el del tórax que tiende a aumentar el suyo.

Entre el final de la espiración y el comienzo de la inspiración del próximo ciclo, durante un instante muy corto no hay movimiento de aire en el tracto respiratorio, lo que equivale a decir que el débito aéreo es nulo, por tanto las variaciones del volumen que experimentan los pulmones frente a las variaciones de la presión pleural corresponderán a cero.

Ahora bien, durante la inspiración el tórax se ensancha y la presión intratorácica

disminuye, ésta depresión se ejerce fundamentalmente sobre los alveolos distendiendolos; la presión intraalveolar en éste momento es inferior a la presión atmosférica que existe a nivel de la boca, por tanto gracias a ésta diferencia de presión el aire fluye de afuera hacia dentro penetrando en los alveolos.

Ya al final de la fase inspiratoria el movimiento de la caja torácica se detiene, por consiguiente, al igual que al final de la fase espiratoria, la presión negativa en el interior del tórax no varía durante un corto instante, siendo el débito nulo, la presión bucal o lo que es igual con la presión barométrica, pudiendo determinarse en éste instante la presión Transpulmonar.

La elasticidad mecánica de un órgano como el pulmón o el tórax es llamada por los autores anglo-sajones: Compliance, término que hemos adoptado y que define: "La variación de volumen del pulmón por unidad de variación de presión".

La compliance se expresa en ml/cm H₂O. Un pulmón es entonces tanto más complaciente, cuando mayor es el volumen ventilatorio movilizado, cuando sobre su superficie externa se ejerce 1 cm de H₂O de presión. Por tanto:

$$C_o = \frac{\text{Volumen en ml aire}}{\text{Presión en cm H}_2\text{O}} = 160-220 \text{ ml/cm H}_2\text{O}$$

En éste sentido, la movilidad tóraco pulmonar crea una corriente de aire cuyo efecto es la renovación del gas intrapulmonar. El aire penetra en una región anatómica que ofrece una gran superficie con un volumen mínimo en el seno de un tejido elástico mantenido constantemente a tensión.

Los músculos de la respiración al contraerse, aumentan el volumen de la caja

*Departamento Respiratorio del Instituto Boliviano de Biología de Altura.

Actas de las Primeras Jornadas de Medicina y Cirugía de la Altura

torácica y los pulmones los siguen en éste movimiento, debido, como es sabido a la presencia del espacio pleural. Como el pulmón es elástico y se encuentra distendido con un volumen superior del que ocuparía si no se encontrara unido a la pleura tiende a retraerse y separarse del torax, lo que crea una presión negativa intratorácica entre las 2 hojas pleurales.

Para estudiar diversos aspectos de la mecánica de la respiración es requisito medir la presión intrapleural y para ello se han usado variadísimos métodos que constituyen molestias para el sujeto examinado, fue Mead quien demostró que la presión esofágica es la fiel traductora de la presión pleural abriéndose desde entonces la vía al estudio práctico de la mecánica ventilatoria. La aplicación de éste metodo se basa en que el esófago está colocado en medio del mediastino y las presiones intrapleurales se transmiten fielmente a sus paredes.

Son varios los factores determinantes de la elasticidad pulmonar:

- I. Elementos del tejido pulmonar.
 - a. Tejido conjuntivo, parénquima pulmonar y septos, pleura, vasos pulmonares.
 - b. Células tisulares.
 - c. Músculo liso de los bronquios y del parénquima pulmonar.

- II. Fuerzas de la superficie de contacto entre el aire y el pulmón.

III. Volumen pulmonar sanguíneo.

- a. Efectos del llenado vascular.
- b. Líquido intersticial y trasudado alveolar.

IV. Moco bronquial.

RESISTENCIA DE LAS VIAS AEREAS

A las fuerzas que movilizan el aire a través de los bronquios se oponen ciertas resistencias, determinadas en primer lugar por el tipo de flujo aéreo. A nivel de bronquios pequeños el flujo es laminar, dependiendo directamente de su longitud y de la viscosidad del fluido e inversamente proporcional a la sección de los bronquiolos. Pero en los bronquios mayores el flujo se hace turbulento. La viscosidad carece entonces de importancia, para desempeñar un importante papel la densidad del fluido.

Por ello, variando la densidad de los gases inhalados es posible determinar a que nivel se pasa de un tipo de flujo a otro. Así en caso de resistencia bronquiales aumentadas, si el flujo varía con la densidad de gas respirado, cabe suponer que las resistencias se hallan a nivel del flujo turbulento. Si el flujo no varía con la densidad del gas respirado es que la obstrucción tiene lugar a nivel del flujo laminar.

En condiciones normales y considerada la gran sección de los bronquios pequeños, éstos ofrecen poca resistencia al flujo aéreo, mientras que a medida que el aire asciende hacia la traquea la sección global es menor.

No todas las resistencias al movimiento aéreo están representadas por el aspecto descrito, también el frotamiento histico del tejido pulmonar con el de la pared torácica juega papel importante.

El hecho de que el pulmón no tiene en un momento dado la misma permeabilidad bronquial es por supuesto causa de ventilación desigual a distintos niveles. Por tanto, cada zona necesitará de un tiempo distinto para vaciarse, éste tiempo depende de la elasticidad pulmonar y de las resistencias al flujo aéreo siendo además variable con la frecuencia ventilatoria.

Para poder medir con precisión las resistencias tanto inspiratorias como espiratorias es menester conocer:

- a. El valor del débito.
- b. El valor de la presión.

Ambos deben ser medidos en el curso del ciclo ventilatorio, de ésta forma obtenemos la medida de las resistencias aéreas dinámicas de acuerdo a la relación.

$$\text{Resist.} = \frac{\text{Presión en cm H}_2\text{O}}{\text{Débito en l/Seg.}} = 3.5 \text{ cm H}_2\text{O/L/seg.}$$

FACTORES QUE MODIFICAN LA RESISTENCIA DE LAS VIAS AEREAS:

Podemos resumirlos de la siguiente manera:

- I. Factores extrabronquiales:
 - a. Efecto de las estructuras torácicas, mediastino y el tejido pulmonar.
 - b. Tumores
 - c. Derrames pleurales
 - d. Cardiomegalia.

II. Factores Bronquiales:

- a. Características estructurales.
- b. Cuerpos extraños en su luz.
- c. Tono de las fibras musculares bronquiales.

Resumiendo y presentando ya nuestro trabajo diremos que:

Los métodos de estudio de las propiedades mecánicas del aparato ventilatorio están basados sobre una representación muy simplificada del sistema, el mismo que está constituido por cinco elementos fundamentales.

El aire que atraviesa las vías aéreas, las paredes traqueobronquiales, el aire alveolar, el tejido pulmonar propiamente dicho y finalmente el conjunto osteo-muscular y pleural, éste último considerado como el motor del sistema. Diversos trabajos han sido realizados con el fin de estudiar los fenómenos de desadaptación que se producen en los pacientes portadores de una enfermedad de Monge o Eritrocitosis de altura, en numerosos casos se ha demostrado que los volúmenes pulmonares, tanto estáticos como dinámicos no sufren variaciones significativas asegurando de ésta manera la eficacia del aparato ventilatorio. El estudio de la mecánica ventilatoria tiene el interés de poder detectar una alteración temprana en este sistema por cuanto se sabe que los valores espirométricos solo se manifiestan patológicamente cuando las lesiones toraco-pulmonares son muy avanzadas. De ésta manera en el presente estudio deseamos mostrar los resultados de una evaluación de 138 pacientes con enfermedades de Monge en los cuales se realizaron, en la mayoría de los casos, una exploración funcional respiratoria completa.

TECNICA

Para mecánica ventilatoria utilizamos un equipo que consta de una cámara a rayos ultravioletas para el registro de los diferentes parámetros a estudiar, completada con un demodulador, de un integrador y de amplificadores electrónicos a más de un osciloscopio que cierra la cadena y en el cual se pueden seguir los trazos respiratorios que serán luego registrados. Sobre una misma banda de papel fotográfico y simultáneamente registramos:

- a. Las variaciones de volumen pulmonar.
- b. Los débitos correspondientes y los instantes de débito ventilatorio nulo.

- c. Las variaciones de la presión intratorácica.

Hemos seguido la técnica de respiración continuada y tratando de obtener una frecuencia respiratoria lo más calmada posible. Nuestros pacientes han sido conectados al circuito mediante un bucal que contiene un neumotoracógrafo que nos permite obtener los instantes débito nulo, o de cambio de fase inspiración espiración (6). La presión tomada entre la boca y el aire ambiente, la presión esofágica (sonda balloonada en tercio inferior de esofago) y el aire ambiente y la presión transpulmonar asimilada a la presión esofago-bucal han sido medidas con la ayuda de electromanómetros diferenciales. Finalmente los volúmenes pulmonares registrados son obtenidos por integración electrónica de la señal precedente.

Los estudios espirográficos y de la mecánica ventilatoria fueron realizados utilizando un equipo Cara de doble campana con control semiautomático de oxígeno, luego de que el sujeto estuvo conectado al espirómetro durante 15 minutos y habituado a la respiración bucal. Las tomas de muestras de sangre arterial para el estudio de la PaO₂, PaCO₂, SaO₂, pH y reserva alcalina se efectuaron mediante una aguja número 20 canalizada en la arteria humeral a la altura del pliegue del codo, en el paciente en decúbico dorsal y en completo reposo. Las muestras de sangre arterial fueron analizadas inmediatamente en un equipo II Mcler 127 correctamente calibrado.

RESULTADOS

Los datos consignan remarcable predominio del sexo masculino sobre el femenino (M: 107 — F: 31), lo que representa un porcentaje de solo 29% para F. En cuanto a la edad, es evidente que la mayoría de los casos ha sobrepasado los 40 años, aún cuando existen algunos casos aislados cuya edad es menor (edad mínima observada: 20 años). Dentro del conjunto total de pacientes se contempla un grupo A que tiene un peso corporal normal (116) y un grupo B, menor (22), constituido por pacientes con franca obesidad, en ambos grupos se puede observar igualmente un predominio neto del sexo masculino.

CUADRO I. Datos biométricos

	No.	Edad Años	Peso Kg.	Talla m.	S.c ml
VARONES:					
Eritrocitosis	93	49.4	70	1.68	1.81
Obesidad mas					
Eritrocitosis	14	45	85.2	1.67	1.93
MUJERES:					
Eritrocitosis	26	56.9	52.8	1.50	1.52
Obesidad mas					
Eritrocitosis	5	55.4	70	1.42	1.57

La cifra media de glóbulos rojos para el sexo masculino es de 7'618,000 y para el sexo femenino de 6'919,500, con hematocrito de 71.3% y 66%, hemoglobina de 26.6 y 21.9 respectivamente.

El 25% del grupo total presentó un síndrome ventilatorio restrictivo (34 pacientes; M: 26, F: 8=) con capacidades vitales que en 7 casos (M; 5, F: 2) estaban por debajo del 50%.

CUADRO II. Valores hematimétricos

	Glóbulos Rojos mm ³	Hemoglobina gr %	Hematocrito %
VARONES:	7.618.000	26.6	71.3
MUJERES:	6.919:500	21.9	66

CUADRO III. Volúmenes y capacidad pulmonares

	CV %	VEMS CV obtenido %	Valor teórico	Volumen Residual obtenido	Valor teórico
VARONES					
Eritrocitosis	80.3	71	74.5	2.593.6	2.040
Eritrocitosis mas obesidad	88.7	76.8	74.5	2.542.5	2.010
MUJERES					
Eritrocitosis	86.11	68	68	2.275	1.640
Eritrocitosis mas obesidad	90.7	79	79	3.260	1.380

El 32% del total mostro un síndrome obstructivo con franca amputación del Índice de Tiffeneau (44 pacientes, M: 33, F: 11) y finalmente un 7% del grupo presente síndrome ventilatorio mixto. En los grupos AF y BF se observó un franco fenó-

meno de atrapamiento aéreo intrapulmonar.

Todos los grupos muestran hipoxia y desaturación arteriales de O₂, con Hiperapnea de intensidad variable.

CUADRO IV. Valores de gasometría arterial

	pH	PaO ₂	PaCO ₂	SaO ₂ %	CO ₃ H-me q/l
VARONES					
Eritrocitosis	7.42	46.3	39.	82.1	21.
Eritrocitosis más obesidad	7.42	47.7	31.1	82.7	19.95
MUJERES					
Eritrocitosis	7.40	45.6	38	82	21.9
Eritrocitosis más obesidad	7.44	42.9	34.75	79.5	23.15

Finalmente los resultados de la mecánica ventilatoria muestran valores de la compliance pulmonar que para el grupo A tiene un valor medio de 173.6 para el sexo mas-

culino y 136.4 para las mujeres, mientras que el grupo B muestran una diferencia mucho mas acentuada (M: 160 ml/cm H₂O, F: 98.5 ml/cm H₂O).

CUADRO V. Valores de mecánica ventilatoria

	Compliance ml/cm H ₂ O	Resistencia Inspiratoria cm H ₂ O/l/seg.	Resistencia Espiratoria cm H ₂ O/l/seg.
VARONES:			
Eritrocitosis	173.6	5.4	5.14
Obesidad más Eritrocitosis	160	5.9	6.55
MUJERES:			
Eritrocitosis	136.4	6.05	8.39
Obesidad más Eritrocitosis	98.5	7.04	9.6

Teniendo en cuenta los valores determinados en I.B.B.A. para personas normales en La Paz —3.700 m. (Lefrancois: 172-11, Vargas 83 ± 13), se puede observar que el grupo AF tiene una tendencia hacia la disminución sin llegar a valores extremos. En el grupo BM la compliance está prácticamente en límites mínimos normales. El grupo BF muestra una franca alteración de la compliance pulmonar.

En todos los grupos a excepción del AM se observa un aumento de las resistencias bronquiales dinámicas y dentro de estas variaciones patológicas se evidencia el predominio del aumento en fase espiratoria, que dentro del contexto de las alteraciones funcionales respiratorias en pacientes desadaptados a la vida en la altura, puede tomarse en cuenta como factor de comienzo o aparición, según los casos de la hipoxia o de hipoxia más hiperapnea que presentan éstos enfermos.

CONCLUSIONES

Se trata de un análisis de los aspectos generales que intervienen en la mecánica ventilatoria así como los factores que determinan sus variaciones patológicas.

Fueron estudiados 138 pacientes poliglobulicos de los cuales 31 pertenecen al sexo femenino (F) y 107 al sexo masculino (M). En todos los casos se realizó un estudio completo de la función respiratoria: se midieron volúmenes y capacidades pulmonares por espirometría, el intercambio gaseoso a nivel alveolo-capital con la determinación de PaO₂, PaCO₂, pH, SaO₂ y CO₃H, y un estudio de la mecánica ventilatoria con la obtención del equivalente de elasticidad toraco-pulmonar o "compliance" simultáneamente a la medida de las resistencias bronquiales dinámicas.

En ambos sexos se puede observar un cierto número de pacientes que son porta-

dores de un sobre peso corporal (B) que se diferencia de las pacientes con peso normal (A); en todos los casos la edad pasa los 40 años."

Los índices hematométricos: glóbulos rojos: hemoglobina y hematocrito son superiores en el sexo masculino (M), paradójicamente el grupo con mayor alteración funcional respiratoria resulta ser el femenino (F) y aún más el grupo F que produce obesidad (FB) en el que se observa una franca alteración de la elasticidad toraco pulmonar.

Desde hace algún tiempo se ha remarcado la mayor prevalencia de la poglobulia en el sexo masculino, este hecho permite suponer que en los varones existiría una mayor predisposición a la desadaptación a la vida en altura, lo evidente, según el presente estudio, es que los casos de eritrocitosis observados en el sexo femenino presentan mayores alteraciones funcionales, es decir que existiría un mayor grado de insuficiencia respiratoria, la misma que de todas maneras desencadena un menor estímulo eritropoyético.