

INTERES DE LA MEDIDA DEL TRABAJO VENTILATORIO EN LA EXPLORACION DE LA FUNCION RESPIRATORIA (*)

J. M. PETIT (**), G. MILIC-EMIL (***), R. KOCH y P. SADOUL.

Laboratorio de Medicina Experimental.
Profesor Agregado: P. SADOUL.
Nancy.

En el examen de la función respiratoria, las medidas espirográficas ocupan un lugar importante a consecuencia de su ejecución relativamente sencilla y de la seguridad de los resultados. Estas medidas permiten determinar los volúmenes pulmonares (capacidad vital y sus constituyentes, volumen residual) y ciertas capacidades máximas de ventilación.

Pero estos datos espirográficos, aunque sean fundamentales en todas las exploraciones funcionales respiratorias, representan solamente una dimensión de la función ventilatoria: la amplitud de los volúmenes pulmonares o de la ventilación de los pulmones. Descuidan la otra dimensión de esta función, a nuestros ojos, igualmente esencial, las fuerzas desarrolladas al nivel del aparato respiratorio para producir estos cambios de volumen.

Para caracterizar el total de la función ventilatoria es necesario recurrir no solamente al estudio de los volúmenes, sino también al estudio de las fuerzas; es decir, al estudio de la mecánica ventilatoria. En efecto, esta última disciplina se ocupa de resolver los problemas teóricos planteados por la definición y la interpretación de los diversos miembros de las ecuaciones del trabajo respiratorio^{1, 2, 3}.

Ofrece además datos sencillos, permitiendo una observación metódica de las fuerzas puestas en juego por los movimientos respiratorios, así como una interpretación directa de ciertos aspectos de las funciones ventilatorias. La medida de la energía mecánica consumida por el aparato respiratorio para movilizar un cierto volumen de aire en la unidad de tiempo es una determinación particularmente útil para valuar de manera directa el grado en que están atacadas las funciones ventilatorias.

La descripción de algunos datos concernientes al trabajo mecánico necesitado por la ventilación, de interés práctico en la exploración funcional respiratoria, forman, pues, el objeto de este trabajo. Insistamos sobre el hecho que estos datos de mecánica ventilatoria, que completan los estudios espirográficos, conciernen únicamente la movilización de los volúmenes de

aire, sin presuponer de ningún modo de la eficacia de los cambios gaseosos, ni de la difusión alveolocapilar, ni de las relaciones entre la distribución del aire y de la sangre en los pulmones, datos de gran importancia también en el estudio de la función respiratoria.

METÓDICA.

La medida del trabajo mecánico de la ventilación está basada sobre la determinación de los datos: de una parte, el volumen desplazado; de otra parte, la presión ejercida a cada instante sobre ese volumen. Puesto que el volumen es una longitud multiplicada por una superficie, y la presión, una fuerza dividida por una superficie, el producto de los dos datos, presión y volumen representa el producto de una fuerza por una longitud; es decir, un trabajo: el producto de la fuerza ejercida (la presión) por el desplazamiento del punto de aplicación de esta fuerza (el volumen desplazado) es el trabajo ventilatorio. Este trabajo se expresa generalmente en gramos \times centímetros o también en kilogramos \times metros.

El volumen desplazado está representado, para cada ciclo respiratorio, por el volumen corriente, o, en la unidad de tiempo, por la ventilación-minuto. La presión es la que reina en la cavidad torácica o pleural. No es evidentemente posible determinar la presión pleural durante una exploración funcional corriente; se le sustituye, pues, la medida de la presión esofágica por medio de una sonda colocada en el tercio inferior del esófago⁴.

Cuando la expiración es pasiva, todo el trabajo activo suministrado por la musculatura respiratoria es efectuado durante la inspiración. Además del gasto de energía necesaria para vencer las resistencias a la corriente aérea, este trabajo de inspiración comprende un cierto gasto de energía necesario para vencer las fuerzas de retracción elástica pulmonar. Ya que la intensidad del trabajo elástico depende de la presión inicial, el cálculo de este trabajo inspiratorio necesita la medida del valor absoluto de la presión intratorácica, sobre la cual la presión intraesofágica no suministra ninguna indicación⁵. Al contrario, las variaciones respiratorias de la presión intraesofágica representan en ciertas condiciones⁶ las variaciones respiratorias de la presión intratorácica. Los exámenes de la presión intraesofágica permiten, pues, la medida de los valores relativos, pero no de los valores absolutos de la presión intratorácica.

A partir del momento en que la expiración se torna activa, la energía elástica almacenada durante la inspiración es restituída enteramente durante la expiración; en efecto, en ese momento, el trabajo expiratorio necesita no solamente la restitución completa de la energía elástica almacenada durante la inspiración, sino tam-

(*) Trabajo realizado con la ayuda financiera de la Alta Autoridad de la Comunidad Europea del Carbón y del Acero.

(**) Auxiliar en el Instituto E. Malvoz, Fisiopatología del Trabajo, Lieja. Titular de una beca de investigación en el Instituto L. Fredericq, Fisiología, Lieja.

(***) Auxiliar en el Instituto de Fisiología Humana, Milán. Señales actuales: Instituto E. Malvoz, Fisiopatología del Trabajo, Lieja.

bién, la intervención de una fuerza suplementaria activamente abastecida por los músculos expiratorios. Puesto que desde ese momento toda la energía elástica almacenada durante la inspiración es restituída durante la expiración, el compuesto elástico del trabajo ventilatorio se anula cuando se efectúa la suma de los trabajos inspiratorios y expiratorios. El trabajo ventilatorio total es entonces igual a la suma del consumo de energía necesario para vencer resistencias al débito aéreo durante la inspiración y la expiración. Puesto que las fuerzas implicadas no intervienen más que cuando hay movimiento, el cálculo de ese trabajo necesita solamente la medida de las variaciones de presión puestas en juego sin determinación del nivel absoluto de la presión. De dónde la utilidad de las medidas de la presión intraesofágica.

Nuestro método de cálculo del trabajo mecánico total de la ventilación está, pues, basado sobre la medida simultánea de la ventilación y de las variaciones respiratorias de la presión intraesofágica cuando la expiración es activa.

Las técnicas que hemos aplicado a un primer grupo de seis sujetos de sexo masculino, compuesto de tres individuos sanos, de 28 a 31 años, y de tres pulmonares crónicos atacados de insuficiencia respiratoria de gravedad diversa han sido las siguientes:

La presión intraesofágica registrada por medio de un manómetro *Racia*, teniendo conexión por transmisión aérea a través de una sonda de 50 cm. de largo y 0,14 cm. de diámetro, con un globito de 5 cm. de perímetro y 13,5 cm. de largo, colocado en el tercio inferior del esófago. En esas condiciones, las variaciones de presión intraesofágica corresponden cuantitativamente a las variaciones de presión intratorácica ⁶.

La ventilación-minuto es medida por medio de un metabógrafo de Fleisch, cuya resistencia al débito aéreo es despreciable en los límites de precisión de las medidas efectuadas ⁷; los instantes donde el débito aéreo es nulo son notados por medio de una señal manométrica. Pruebas de ventilación máximo durante 15 a 20 segundos son igualmente efectuadas por medio de un espirógrafo de Cara ⁸.

El ejercicio muscular se efectúa sobre un ergostato de Fleisch, en posición sentada, a intensidades periódicamente acrecentadas de 20 en 20 wats, hasta que el sujeto sea incapaz de mantener toda la potencia propuesta. Las medidas se efectúan después de 5 a 6 minutos de ejercicio o durante el último minuto que precede al agotamiento.

Los volúmenes son exprimidos a 37°, a presión ambiente y saturación en vapor de agua. La aparición de una expiración activa es puesta en evidencia por la existencia durante la expiración de una presión intraesofágica superior a la medida al fin de la expiración.

La figura 1 muestra las variaciones respiratorias de la presión intraesofágica en un sujeto

normal, a tres niveles de ventilación diferentes durante el ejercicio muscular. En A, la expiración es pasiva: el trabajo ventilatorio efectuado durante la inspiración equivale al trabajo ventilatorio total. Comprende un componente elástico cuya determinación necesita la medida del valor absoluto de las presiones reinantes en la cavidad torácica. Puesto que la presión intraesofágica no da ninguna indicación sobre este valor absoluto, no es posible calcular el trabajo total en esas condiciones de expiración pasiva.

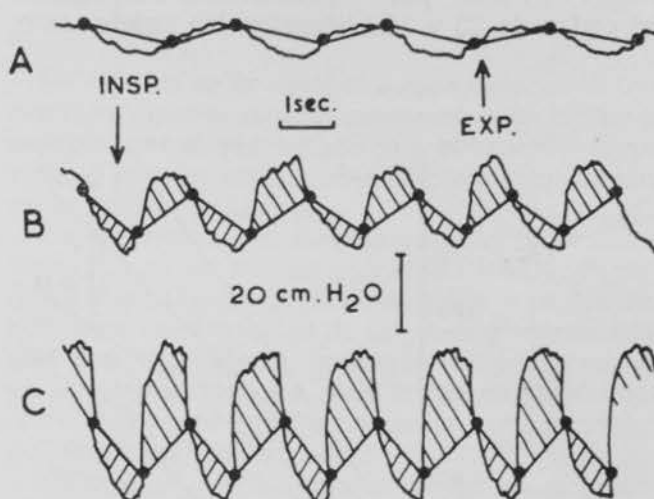


Fig. 1.—Variaciones respiratorias de la presión esofágica a tres intensidades metabólicas durante el ejercicio muscular en bicicleta, en posición sentada, en un sujeto normal. Los puntos representan los instantes de débito aéreo nulo obtenidos por medio de una señal manométrica; las líneas que unen estos puntos representan las variaciones de presión en función del tiempo, debidas a las fuerzas de retracción pulmonar elásticas; la expiración es activa en B y C, y es posible calcular, a partir de las superficies rayadas, el trabajo ventilatorio total.

En B y C, la expiración es activa: en efecto, la presión intraesofágica es más elevada durante la expiración que al final de ella. Una cierta cantidad de energía suplementaria es abastecida por los músculos expiratorios, porque toda la energía elástica almacenada durante la inspiración y restituída durante la expiración no es suficiente para asegurar enteramente el trabajo necesario durante la expiración. A partir de ese momento, el componente elástico del trabajo inspiratorio se vuelve a encontrar completamente en el trabajo efectuado en la expiración para vencer las resistencias al débito aéreo. El trabajo ventilatorio total es igual a la suma de los trabajos efectuados para vencer las resistencias al débito aéreo durante la inspiración y la expiración, suma en la que los componentes elásticos se anulan. La determinación de este trabajo total necesita solamente la medida de las variaciones respiratorias de la presión intratorácica, que pueden ser obtenidas por medidas esofágicas.

Estas variaciones de la presión intratorácica, necesitadas para vencer las resistencias al débito aéreo, son representadas en B y C por la altura media de las superficies rayadas. La determinación de estas alturas medias por plani-

metría permite el cálculo del trabajo ventilatorio total.

En la figura 2, los valores del trabajo ventilatorio son puestos a llevar en función de la ventilación; en A, en un sujeto normal; en B, en un sujeto normal y en dos insuficientes respiratorios. Esta figura muestra que, en los normales, como en los patológicos, el trabajo ventilatorio se vuelve progresivamente más costoso a medida que la ventilación aumenta: el trabajo por litro de aire ventilado se eleva de 0,05 kg./litro a 0,25 kg./litro para ventilaciones respectivas del orden de 25 y 100 litros en los sujetos nor-

fuerzo agotador de 5 a 6 minutos es, en los sujetos normales, largamente inferior al trabajo realizado durante una prueba de ventilación-máximo-minuto voluntario, así como los niveles de ventilación respectivamente alcanzados en esas dos situaciones. Un comportamiento similar se vuelve a encontrar en uno de los insuficientes respiratorios de la figura 2 B, mientras que en el otro, el trabajo y la ventilación alcanzados durante el ejercicio muscular agotador vuelven a juntar los valores obtenidos durante la ventilación-máximo-minuto voluntario. En fin, tanto para la ventilación durante el ejercicio como

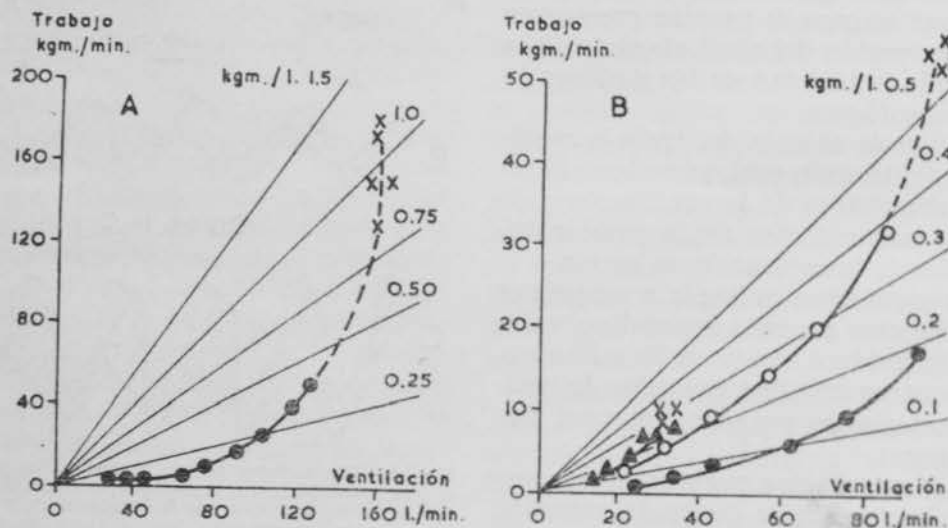


Fig. 2. A: Trabajo ventilatorio en función de la ventilación en un sujeto normal, a diversas intensidades metabólicas, durante el ejercicio muscular sobre bicicleta (●—●). El trabajo respiratorio por litro de aire ventilado (líneas iso-trabajo/litro) aumenta con la ventilación. Además, trabajo respiratorio durante la ejecución de la ventilación-máximo-minuto a diversas frecuencias (X—X). B: Escalera diferente, mostrando el trabajo respiratorio en función de la ventilación en dos insuficientes respiratorios, respectivamente grave (Δ—Δ) y mediano (O—O), comparado al sujeto normal de A. El trabajo por litro de aire ventilado es más elevado en los insuficientes que en el normal; esta diferencia se acentúa fuertemente durante el ejercicio muscular porque la pendiente del diagrama trabajo respiratorio-ventilación es más realzada en los insuficientes. En el insuficiente grave, la ventilación, durante el ejercicio, vuelve a unirse a la ventilación máximo. El trabajo máximo efectuado por los insuficientes respiratorios es inferior al efectuado por el normal.

males. En el insuficiente respiratorio, el trabajo ventilatorio, a un nivel dado de ventilación, es más elevado que en los normales, y tanto más cuanto que el grado de ataque de las funciones ventilatorias es grande. Por ejemplo, el trabajo por litro de aire ventilado para una ventilación del orden de 25 litros por minuto es de 0,05 kg./litro aproximadamente en los sujetos normales, mientras que alcanza aproximadamente 0,15 y 0,20 kg./litro en los dos insuficientes respiratorios.

Además, en el insuficiente respiratorio, el aumento del gasto energético ventilatorio es más rápido que en los sujetos normales: por ejemplo, el trabajo por litro de aire ventilado alcanza 0,2 kg./litro, respectivamente, en los sujetos normales; el insuficiente respiratorio medio y el insuficiente respiratorio grave, para ventilaciones del orden de 95, 40 y 25 litros por minuto. Las diferencias entre sujeto normal y sujeto insuficiente respiratorio se acentúan a medida que la ventilación aumenta.

Esta figura, 2 A, muestra igualmente que el trabajo ventilatorio en el momento de un es-

para la ventilación-máximo voluntaria, los valores de trabajo alcanzados por los insuficientes respiratorios son inferiores a los realizados por los normales, tanto más cuanto que el grado de déficit funcional ventilatorio es grande. Los resultados obtenidos en los otros cuatro sujetos son del mismo orden.

DISCUSIÓN.

Venimos de mostrar que el trabajo ventilatorio es aumentado en el insuficiente respiratorio. Nuestros resultados confirman los de CHRISTIE⁹, FRY y cols.¹⁰, MCILROY y CHRISTIE¹¹, MARSHALL y cols.¹², MCILROY y MARSHALL¹³; pero obtenidos mediante un método que ha sido objeto de críticas¹⁴.

Esta diferencia entre el sujeto normal y el patológico se acentúa fuertemente durante el ejercicio muscular a medida que el nivel de ventilación aumenta. Las medidas del trabajo ventilatorio durante un ejercicio muscular suficientemente intenso son particularmente útiles para apreciar el grado de las perturbaciones mecáni-

cas ventilatorias encontradas en el curso de la insuficiencia respiratoria. Pero además de las perturbaciones mecánicas, que aumentan en los patológicos la cantidad de trabajo necesario para ventilar un litro de aire, existen igualmente perturbaciones motrices que reducen el trabajo máximo que es susceptible de suministrar la musculatura respiratoria durante la ventilación máximo voluntaria.

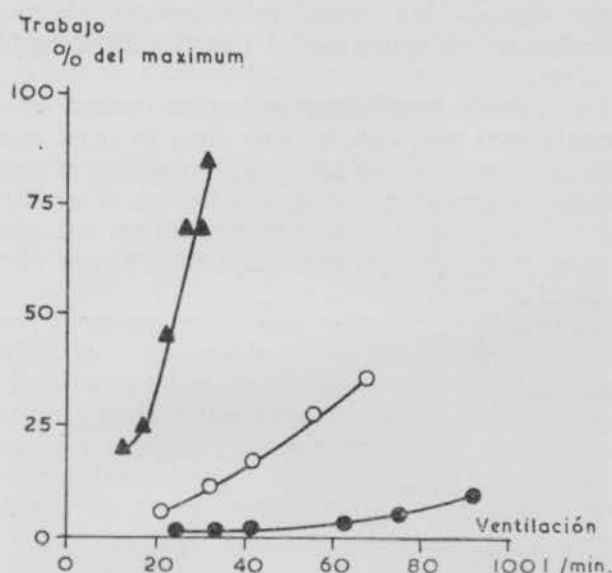


Fig. 3.—Trabajo respiratorio expresado en porcentaje del trabajo máximo obtenido durante la ventilación máximo voluntaria y en función de la ventilación para los tres sujetos de la figura 2 B. Las diferencias entre las tres curvas son particularmente significativas del grado de ataque de las funciones ventilatorias.

Por esta razón, el trabajo ventilatorio expresado en porcentaje el trabajo obtenido durante la ventilación máxima voluntaria, y en función de la ventilación minuto suministra una imagen todavía más significativa (fig. 3) del grado de ataque de las funciones ventilatorias del individuo examinado.

De otra parte, la curva que expresa la relación entre el trabajo ventilatorio y la ventilación tiende a unirse con una asíntota paralela al eje de las ordenadas, es decir, que a partir de un cierto nivel de ventilación, ésta no aumenta más, sea cual sea el trabajo (figs. 2 A y B). Este aspecto permite controlar si los valores de ventilación máximo voluntaria obtenidos son resultados máximos cuando constituyen con los otros datos recogidos una curva, tendiendo hacia una asíntota vertical.

CONCLUSIÓN.

Las medidas del trabajo ventilatorio durante el ejercicio muscular permiten determinar el gasto de energía mecánica necesitado por la ventilación a sus diversos niveles y caracterizar así el coste energético de la ventilación del sujeto examinado. Las medidas efectuadas durante la ventilación máximo voluntaria permiten determinar el gasto de energía máximo que puede sostener el aparato respiratorio del sujeto y de conocer así la potencia motriz que puede de-

sarrollar. La relación de estos dos valores suministra un criterio de la dificultad que tiene el aparato respiratorio para mantener un cierto nivel de ventilación. Este criterio parece susceptible de proporcionar datos de gran interés práctico para evaluar de manera sintética y completa el grado de ataque de las funciones ventilatorias. Desgraciadamente, si las técnicas utilizadas para su determinación son relativamente sencillas, necesitan un *gasto de tiempo* particularmente importante.

RESUMEN.

El estudio de la mecánica ventilatoria es una disciplina que se ocupa, entre otras, de medir la energía mecánica gastada por el aparato respiratorio para movilizar un cierto volumen de aire en la unidad de tiempo.

La determinación de esta energía mecánica o trabajo ventilatorio es ejecutado mediante medidas simultáneas de la ventilación y de las variaciones respiratorias de la presión intraesofágica, que representan las variaciones de presión en la cavidad torácica. Los primeros resultados obtenidos en los sujetos normales e insuficientes respiratorios son referidos.

El trabajo ventilatorio es mayor en el insuficiente respiratorio que en el sujeto normal. A medida que la ventilación aumenta, el trabajo para ventilar un litro de aire aumenta, y este aumento es más rápido en el insuficiente respiratorio que en el sujeto normal.

El trabajo ventilatorio máximo que puede suministrar un insuficiente respiratorio es más débil que el que puede suministrar un sujeto normal. La relación entre el trabajo necesitado en el individuo examinado por un nivel bajo de ventilación y el trabajo máximo que puede suministrar es particularmente significativo del grado de ataque de las funciones ventilatorias.

BIBLIOGRAFIA

1. ROHRER, F.—Pflüg. Arch. ges. Physiol., 162, 225, 1915.
2. OTIS, A. B.; FENN, W. O., y RAHN, H.—J. Appl. Physiol., 2, 592, 1950.
3. CARA, M.—Le Poumon et le Cœur, 11, 969, 1955.
4. BUYTENDIJK, H. J.—Oesophagusdruk en longelasticiteit. Oppenheim N. V., ed., Groningen, 1949.
5. PETIT, J. M., y MILIC-EMILI, G.—Arch. Int. Physiol. & Bioch., 65, 607, 1957.
6. PETIT, J. M., y MILIC-EMILI, G.—J. Appl. Physiol., 13, 481, 1958.
7. FLEISCH, A.—Nouvelle méthode d'étude des échanges gazeux. Benno Schwabe, ed., Bâle, 1954.
8. CARA, M., y ECONOMIDES, E.—C. R. Soc. Biol., 146, 1952.
9. CHRISTIE, R. V.—Proc. Roy. Soc. Med., 46, 381, 1953.
10. FRY, D. L.; EBERT, R. V.; STEAD, W. W., y BROWN, C. C.—Am. J. Med., 16, 80, 1954.
11. MCILROY, M. B., y CHRISTIE, R. V.—Clin. Sci., 13, 147, 1954.
12. MARSHALL, R.; MCILROY, M. B., y CHRISTIE, R. V.—Clin. Sci., 13, 137, 1954.
13. MCILROY, M. B., y MARSHALL, R.—Clin. Sci., 15, 345, 1956.
14. OTIS, A. B.—Ann. Rev. Physiol., 20, 159, 1958.

SUMMARY

The study of the mechanics of ventilation is a subject that deals, among other things, with the measurement of the mechanical energy exerted by the respiratory apparatus in order

to mobilize a given volume of air a given time.

This mechanical energy or ventilation effort is determined by simultaneous measurement of the ventilation proper and of the respiratory variations that accompany it in the intraoesophageal pressure, representing the variations of the pressure within the thoracic cavity. The first results obtained in normal individuals and in cases of respiratory failure are recorded.

The ventilation effort is greater in cases of respiratory insufficiency than in normal subjects. As the ventilation increases, the effort required to mobilize a litre of air also increases, and this increase is more rapid in cases of respiratory failure than in the normal subject.

The maximum ventilation effort of which an individual suffering from insufficiency is capable is feeble than in the case of normal individuals. The relation between the effort required in the individual under study for a given level of ventilation and the maximum effort of which he is capable is of particular significance as an index of the degree to which his respiratory functions are affected.

ZUSAMMENFASSUNG

Das Studium der Durchlüftungsmechanik ist eine Disziplin, die sich, unter anderem, damit befasst, die mechanische Energie zu messen, die der Atmungsapparat verbraucht um ein gewisses Luftvolumen in einer Zeiteinheit zu mobilisieren.

Die Bestimmung dieses mechanischen Energieverbrauches oder Durchlüftungstätigkeit wird mittels gleichzeitigen Messungen der Durchlüftung und der Atmungsvariationen des intraoesophagealen Druckes durchgeführt, welche die Druckvariationen in der Brusthöhle darstellen. Es wird über die ersten Ergebnisse bei gesunden Menschen, sowie bei Patienten mit respiratorischer Insuffizienz berichtet.

Die respiratorische Insuffizienz erfordert eine grössere Durchlüftungstätigkeit. Mit Zunahme der Durchlüftung wird auch eine erhöhte Tätigkeit zur Durchlüftung eines Liter Luft benötigt und diese Erhöhung ist beim Patienten mit respiratorischer Insuffizienz im Verhältnis zum Gesunden, beschleunigt.

Die maximale Durchlüftungstätigkeit, die ein Patient mit respiratorischer Insuffizienz leisten kann ist schwächer als die eines normalen Menschen. Das Verhältnis zwischen der Tätigkeit, die vom Patienten während der Untersuchung mit einem gewissen Durchlüftungsniveau gefordert wird und der maximalen Tätigkeit, die er zu leisten vermag, ist ganz besonders vielsagend für den Grad des Befallenseins der Durchlüftungsfunktion.

RÉSUMÉ

L'étude de la mécanique ventilatrice est une discipline qui s'occupe, entre autre, de mesurer

l'énergie mécanique dépensée par l'appareil respiratoire pour mobiliser un certain volume d'air dans l'unité de temps.

La détermination de cette énergie mécanique, ou travail ventilateur, est réalisée au moyen de mesures simultanées de la ventilation et des variations respiratoires de la pression intra-œsophagique, qui représentent les variations de pression dans l'activité thoracique.

On signale les premiers résultats obtenus chez les sujets normaux et insuffisantes respiratoires.

Le travail ventilateur est plus grand chez l'insuffisant respiratoire que chez le sujet normal. Au fur et à mesure que la ventilation augmente, le travail pour la ventilation d'un litre d'air augmente et cette augmentation est plus rapide chez l'insuffisant respiratoire que chez le sujet normal.

Le travail ventilateur maximum que peut produire un insuffisant respiratoire est plus faible que celui que peut produire un sujet normal. Le rapport entre le travail nécessaire chez l'individu, examiné par un niveau de ventilation donné, et le travail maximum qu'il peut produire est particulièrement significatif au point de vue du degré d'attaque des fonctions ventilatrices.

LOS CONTRASTES YODADOS HIDROSOLUBLES EN LA EXPLORACION RADIOLOGICA GASTRODUODENAL

L. MASJUÁN.

Instituto de Investigaciones Clínicas y Médicas.
Clínica de Nuestra Señora de la Concepción.
Departamento de Radiodiagnóstico.

En los últimos tiempos hemos observado diferentes publicaciones, por autores americanos, llevadas a ensayar nuevos métodos de exploración gastrointestinal, sustituyendo la tradicional papilla de sulfato de bario por productos yodados hidrosolubles. Tanto CANADA (1955), como DAVIS (1956) o EPSTEIN (1957) han probado con éxito y estudiado comparativamente los resultados con respecto al examen con bario de los conocidos productos para urografías intravenosas Urokon, Hypaque y Renografin.

Recientemente ha sido lanzado al mercado en Estados Unidos el Gastrografen (Squibb), cuya fórmula es la misma del Urografen; pero aromatizado, para más fácil ingestión. A la corta literatura existente queremos unir nuestra experiencia y opinión con la primera comunicación en nuestro país.

En todos nuestros casos hemos usado Urografen Schering al 76 por 100, haciendo una dilución con agua, a partes iguales. El sabor desagradable