

Servicio de Medicina Intensiva.  
Complejo Sanitario de la Seguridad  
Social Virgen de Lluç. Palma de  
Mallorca.

## CAPACIDAD RESIDUAL FUNCIONAL DURANTE CORTOS PERIODOS DE RESPIRACION DE OXIGENO AL 100 % EN SUJETOS SANOS

J. Ibáñez Juvé, J. M.<sup>a</sup> Raurich Puigdevall, R. Abizanda Campos y  
S. García Moris.

### Introducción

La determinación del volumen pulmonar al final de la espiración normal, es decir la capacidad residual funcional<sup>1</sup> (FRC), ha sido objeto de interés creciente en los pacientes afectados de insuficiencia respiratoria aguda (IRA) para interpretar las alteraciones del intercambio gaseoso pulmonar y también como volumen de referencia (por ejemplo, para la compliance pulmonar).

Las principales causas en estos enfermos que afectan al intercambio de gases a nivel pulmonar, con una  $FIO_2$  determinada y un gasto cardíaco estable, son las áreas con un  $V_A/Q'$  bajo y con un efecto shunt ( $Q's/Q't$ ). El método analítico comúnmente empleado es el cálculo del  $Q's/Q't$  durante la respiración de oxígeno 100 % durante cortos periodos de tiempo. Algunos autores<sup>2,3</sup> han demostrado que esta práctica con los pacientes afectados de insuficiencia respiratoria grave conduce a un incremento del  $Q's/Q't$ , atribuyéndose fundamentalmente a dos mecanismos: 1) disminución de la FRC por formación de atelectasias, y 2) redistribución del flujo sanguíneo pulmonar.

Las variaciones de la FRC con la inhalación de  $O_2$  100 % han sido estudiadas tanto en sujetos sanos como en pacientes con IRA, encontrándose resultados conflictivos.

El propósito de este trabajo es valo-

rar los cambios que la respiración de  $O_2$  100 % durante breves periodos de tiempo puede producir sobre la FRC de sujetos sanos y considerar los posibles mecanismos implicados.

### Material y métodos

Se estudiaron 20 sujetos sanos voluntarios, miembros del personal sanitario. Siete eran mujeres y 13 hombres. La edad media fue 25,9 (SD  $\pm$  2,8) años, la altura de 169,2 ( $\pm$  8,5) cm. y el peso de 64,6 ( $\pm$  11,5) kg. Diez eran fumadores habituales (más de 20 cigarrillos por día). La historia clínica y la exploración física confirmaron la ausencia de trastornos respiratorios. Los datos biológicos se especifican en la tabla I.

La FRC se determinó con el método de helio<sup>4</sup>, empleándose un espirómetro de agua de 9 l. (Volutest) y un analizador de helio UG 45. El espirómetro se lavó de 9 a 10 veces con oxígeno, ajustándose entonces al cero del analizador para determinar la FRC con ambiente de  $O_2$ . La concentración de  $O_2$  se comprobó repetidas veces tomando muestras de 50 ml. de gas del espirómetro y de la fuente de oxígeno, analizándolas con un electrodo polarográfico de oxígeno IL 213 debidamente calibrado, obteniéndose una  $FiO_2$  de 0,99.

La comprobación de la exactitud de medida se realizó introduciendo un volumen conocido de oxígeno y midiendo el volumen obtenido con el analizador (fig. 1). La calibración con aire se practicó según la misma técnica<sup>5</sup>.

**Procedimiento.** La adaptación de una válvula de Hans-Rudolph a la válvula del espirómetro permitió respirar  $O_2$  100 % y conectar al sujeto con el circuito de análisis en el momento deseado. La FRC se determinó a los 20 minutos de respirar oxígeno, tanto en posición sentado como en decúbito supino. Las determinaciones con aire y oxígeno se practicaron en un periodo de 24-48 horas para cada individuo. En la mitad se analizó la FRC primero con oxígeno y luego con aire y en el resto al revés. Durante todas las mediciones se proporcionó el oxígeno necesario para mantener estable el nivel espiratorio del sujeto en el registro espirográfico.

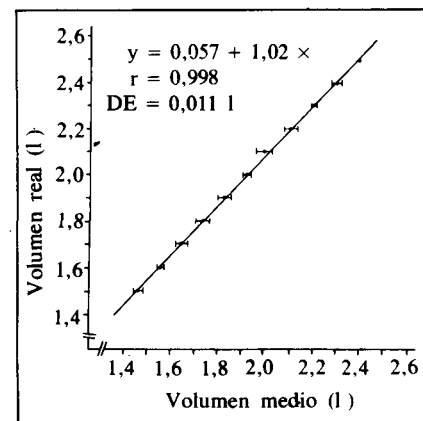
La FRC se expresa en litros (l.) BTPS. Los resultados obtenidos expresados como su valor medio y la desviación standard (SD) se analizaron con un test de la t de Student y un análisis de regresión<sup>6</sup>.

### Resultados

#### Valoración de la calibración

En la figura 1 puede apreciarse que el analizador de helio con una atmósfera de oxígeno infravaloraba los volúmenes introducidos, reducción que fue siempre inferior al 5 % y debida probablemente a un error visual en el ajuste cero y al envejecimiento de la célula analítica que suele cursar con un rendimiento inferior. El coeficiente de

Fig. 1. Se añade un volumen conocido de oxígeno en el espirómetro y se mide el volumen por el cambio en la concentración de helio, registrándose directamente en el analizador de helio.



correlación fue prácticamente la identidad.

Todos los resultados de FRC se corrigieron según la ecuación de regresión obtenida para cada gas, no empleándose ningún otro factor de corrección<sup>7</sup>.

#### Reproducibilidad

Se determinó la FRC por duplicado en 20 ocasiones, obteniéndose una diferencia media entre la primera y la segunda determinación de 0,056 l. y una DS de  $\pm 0,011$  l.

En la tabla I se especifican los resultados obtenidos y el análisis estadístico se presenta en la tabla II.

#### Análisis de los resultados

En posición sentado no hubo cambios significativos en la FRC al pasar de respirar aire a O<sub>2</sub> 100 %, detectándose una diferencia media de 0,063 l.  $\pm 0,170$  l., lo cual supuso una reducción del 2,2 %. En decúbito, la reducción de FRC con oxígeno en 19 sujetos sanos fue de  $0,137 \pm 0,107$  l. ( $p < 0,01$ ). Excepto en dos sujetos en los que aumentó, la FRC disminuyó siempre al respirar oxígeno, y supuso un 6 % de la FRC respirando aire.

La disminución de volumen pulmonar con el cambio postural fue de 0,638 l. con aire y de 0,722 l. con O<sub>2</sub>, siendo la diferencia media de  $-0,084 \pm 0,141$ , estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ). La disminución de volumen con el cambio postural fue un 4 % mayor en los individuos que respiraron O<sub>2</sub> 100 %.

No encontramos ninguna variación significativa entre la frecuencia respiratoria y el volumen minuto según respiraran aire u oxígeno.

#### Discusión

La información disponible sobre la toxicidad pulmonar del oxígeno es incompleta y conflictiva. Así, respecto al sujeto sano existen opiniones que dejarían en 10 horas la exposición de oxígeno que produce una reducción en la capacidad vital y molestias retroesterinales<sup>8</sup>, mientras que otros autores<sup>9</sup> creen que la inhalación de O<sub>2</sub> puro durante 24 horas o menos no produciría lesiones tóxicas importantes.

Nuestros resultados, obtenidos en personas jóvenes sanas sin afectación cardiopulmonar, permiten afirmar la ausencia de cambios valorables en la FRC al respirar O<sub>2</sub> al 100 % en posición sentado, lo cual concuerda con los datos de Don y cols.<sup>10</sup> (tabla III). En decúbito y al igual que otros auto-

TABLA I

Capacidad residual funcional de los 20 sujetos sanos respirando aire y O<sub>2</sub> 100 %, en litros BTPS

N.º	SEXO	EDAD	TALLA	PESO	SENTADO		DECUBITO	
					FiO <sub>2</sub> 0,21	FiO <sub>2</sub> 1.	FiO <sub>2</sub> 0,21	FiO <sub>2</sub> 1.
1	H	22	177	61	3,690	3,756	2,906	2,876
2	H	26	170	70	3,398	3,624	2,495	2,474
3	M	26	162	49	2,203	2,196	1,891	1,783
4	M	28	153	63	2,298	1,916	1,570	1,387
5	M	23	160	56	2,127	2,231	1,891	1,726
6	H	25	167	64	2,632	2,358		
7	M	25	175	60	2,699	2,716	1,782	1,496
8	H	25	170	58	2,371	2,431	2,029	1,783
9	H	25	169	56	2,604	2,729	1,937	1,916
10	H	29	174	61	4,550	4,428	3,222	3,063
11	H	28	176	76	3,580	3,410	3,099	2,845
12	H	24	173	60	3,380	3,374	2,588	2,394
13	H	29	170	78	2,380	2,323	2,056	1,898
14	H	23	180	89	2,834	2,745	1,837	1,697
15	M	25	165	60	2,588	2,254	1,837	1,640
16	H	26	171	70	3,344	3,452	2,933	2,934
17	H	35	164	75	2,083	2,186	1,535	1,668
18	M	23	155	45	2,235	2,059	1,824	1,655
19	H	25	187	83	3,415	3,179	2,864	2,601
20	M	25	159	49	2,495	2,272	1,863	1,726

Sexo: M = Mujer, H = Hombre. Talla, en cm. Peso, en Kg.

TABLA II

Análisis estadístico del efecto del O<sub>2</sub> 100 % sobre la FRC

POSICION	FiO <sub>2</sub> 0,21	FiO <sub>2</sub> 1.	p
Sentado n = 20	2,845 $\pm$ 0,659	2,782 $\pm$ 0,690	NS
Decúbito n = 19	2,219 $\pm$ 0,548	2,082 $\pm$ 0,550	< 0,01

res<sup>10-12</sup> encontramos una reducción de la FRC, no superior al 6 %, estadísticamente significativa. En la última tabla es posible apreciar que se encontraron reducciones de FRC hasta un 23 %, cifra realmente alta y que no nos es posible explicar sólo porque la posición estudiada sea distinta.

Weiner y Cooper<sup>13</sup> no encontraron ninguna disminución de la FRC en sujetos sanos en decúbito después de respirar oxígeno durante unos 14 minutos.

La razón por la que el oxígeno produciría esta disminución de FRC podría ser el colapso alveolar ante la ausencia de nitrógeno en los alveolos. Se cree que este colapso alveolar es más probable que ocurra en las regiones con V'/Q' bajo, donde la captación de oxígeno puede exceder al aporte de oxígeno por la ventilación.

Esta teoría de la inestabilidad de las unidades alveolares con V'/Q' bajo durante la respiración con O<sub>2</sub> ha sido elaborada por Dantzker y cols.<sup>14</sup>. El trabajo de Wagner y cols.<sup>15</sup> mediante la técnica de infusión de varios gases inertes ha puesto de manifiesto que en sujetos sanos y en decúbito supino existen V'/Q' críticos menores de 0,05, presumiblemente por ventilación intermitente en las zonas más dependien-

tes, zonas que en ausencia de nitrógeno alveolar serían inestables y podrían colapsarse. En nuestro estudio hemos encontrado que la disminución de la FRC con el cambio postural de sentado a decúbito era significativamente mayor respirando oxígeno que aire, lo cual apoyaría la tesis del colapso alveolar por la desnitrógenación alveolar.

La repercusión que esta disminución de volumen pulmonar produciría sobre el intercambio gaseoso varía según se trata de enfermos con IRA o bien en sujetos sanos. Así es posible observar que en pacientes afectados de IRA, sometidos a ventilación artificial, una disminución de la FRC al respirar oxígeno 100 %, de magnitud inferior a la nuestra<sup>3</sup>, el Q's/Q't aumentaba en un 6 %, mientras que en sujetos jóvenes sanos el shunt disminuía en un 1,7 %<sup>16</sup>. Esta discrepancia puede explicarse en parte por la metodología empleada en la determinación del shunt con O<sub>2</sub> 100 %, especialmente si es pequeño. Las causas de error en la lectura de pO<sub>2</sub> y el retraso en la determinación pueden dar lugar a pequeños errores del orden del 4 al 5,5 % en el cálculo de shunt<sup>17</sup>, que si bien no tienen especial importancia clínica pueden ser la causa de la confusión que



TABLA III

Comparación de los resultados obtenidos por otros autores con respecto a la influencia del oxígeno sobre la FRC en sujetos sanos

AUTOR	N.º	POSICION	FiO <sub>2</sub> 0.21	FiO <sub>2</sub> 1.	DIFERENCIA MEDIA	p	% REDUCCION
Weiner y Cooper <sup>13</sup>	14	Supino	2,503	2,446	0,057	NS	2,3
Dery y cols. <sup>12</sup>	7	Semisentado	2,215	1,716	0,499	< 0,01	23
Ramachandran y Fairley <sup>11</sup>	8	Supino	2,002	1,773	0,229	< 0,01	11,4
Don y cols. <sup>10</sup>	5	Sentado	2,382	2,349	0,033	NS	1,3
Don y cols. <sup>10</sup>	6	Supino	2,307	2,229	0,078	< 0,05	3,3
Nuestra serie	20	Sentado	2,845	2,782	0,063	NS	2,2
	19	Supino	2,219	2,082	0,137	< 0,01	6,1

uno encuentra al comparar valores de la literatura.

Por lo que se refiere a nuestra metodología, cabe decir que las tres técnicas existentes para determinar la FRC: la dilución de un gas inerte, el lavado prolongado de nitrógeno y la pletismografía corporal obtienen resultados semejantes, aunque la primera tiene la menor SD en los duplicados<sup>18</sup>. La variación de la FRC es en parte real y en parte debido a errores analíticos, tales como: fugas en el sistema, variaciones del espacio muerto por un nivel de agua distinto, diferencias en el nivel espiratorio basal. Una vigilancia exhaustiva podría minimizar las dos primeras fuentes de error; sin embargo, la diferencia entre el nivel espiratorio basal de la primera respiración y el de la última (interpretada como diferencia entre el oxígeno consumido y el añadido) puede resultar en errores de la FRC de 100 a 200 ml. Recientemente Lewis<sup>19</sup> propuso una nueva técnica con dos gases inertes que podría disminuir la variación entre las determinaciones obtenidas por duplicado.

Ninguno de los autores citados en la tabla III hace mención de que empleara los factores de corrección propuestos por Menlely<sup>4</sup>, por lo que nuestros resultados coinciden especialmente con los de Don y cols.<sup>10</sup> y no están de acuerdo con los de Weiner<sup>13</sup>, si bien las diferencias reales no superan los 100 ml. Todos los cambios de FRC con oxígeno puro fueron reversibles en nuestra serie y por los resultados obtenidos por otros autores<sup>10,12</sup> parece que hasta los 60 minutos no hay posteriores reducciones de la FRC a la observada en los primeros 15-20 minutos de inhalar oxígeno. A modo de conclusión podríamos decir que la inhalación de oxígeno 100 % en sujetos sanos jóvenes no produce cambios en la FRC en posición sentado, detectándose una pequeña reducción (6 %) de la capacidad residual funcional en decúbito supino, que podría explicarse por el colapso alveolar de las zonas con V/Q' bajo. La repercusión que podría tener sobre el intercambio gaseoso no puede deducirse de nuestro estudio, pero probablemente a la luz de los últimos estudios publicados<sup>15</sup> se produciría un incremento del 1 % en el Q's/Q't.

bajo, secundario a la eliminación de nitrógeno pulmonar. La repercusión que esta disminución de volumen pulmonar tendría sobre el intercambio gaseoso sería mínima desde un punto de vista clínico.

Summary

### Summary

RESIDUAL FUNCTIONAL CAPACITY DURING SHORT PERIODS OF RESPIRATION OF 100 % OXYGEN IN HEALTHY SUBJECTS.

The authors determined the functional residual capacity with the method of dilution of helium in 2 healthy young subjects breathing air and 100 % oxygen, evaluating the calibration and reproductibility of the method. In a sitting position, no changes in the FRC were detected. In dorsal decubitus position there was statistically significant small reduction (6 %) in the FRC when breathing oxygen (P < 0.01). The decrease of volume with the change of position was 4 % when breathing oxygen with air.

Probably the decrease of FRC when breathing 100 % oxygen in dorsal decubitus was produced by alveolar collapse of the zone with low V/Q secondary to the elimination of pulmonary nitrogen. The repercussion that this decrease of pulmonary volume would have on gaseous exchange would be minimal from the clinical point of view.

### Resumen

Se determinó la capacidad residual funcional con el método de dilución de helio en 20 sujetos sanos jóvenes respirando aire y oxígeno 100 %, valorando la calibración y reproducibilidad del método. En posición sentado no se detectaron cambios en la FRC. En decúbito supino hubo una pequeña reducción (6 %) en la FRC al respirar oxígeno estadísticamente significativa (p < 0,01). La disminución de volumen con el cambio postural fue un 4 % mayor respirando oxígeno que aire.

La disminución de FRC al respirar oxígeno 100 % en decúbito supino se produciría probablemente por el colapso alveolar de las zonas con V/Q'

### BIBLIOGRAFIA

1. COMROE, J.: Physiology of respiration, pág. 16. Year Book, M. P. Chicago, 1974.
2. PONTOPPIDAN, H.; LAVER, M. B., y GEFFIN, B.: Acute respiratory failure in the surgical patient. *Adv. Surg.*, 4: 163, 1970.
3. SUTER, P.; FAIRLEY, H. B., y SCHLO-

BOHM, R. M.: Shunt, lung volumen and perfusion during short periods of ventilation with oxygen. *Anesthesiol.*, 43: 617, 1975.

4. MENEELY, G., y KALTREIDER, N.: The volume of the lung determined by helium dilution. Description of the method and comparison with other procedures. *J. Clin. Invest.*, 28: 129, 1949.

5. IBAÑEZ JUVE, J.; GARCIA MORIS, S.; MARSE MILLA, P.; ABIZANDA CAMPOS, R.; FIOLE SALA, M., y ABADAL CENTELLAS,

J. M.: Diferencias en la función pulmonar de sujetos sanos secundarias al cambio postural. *Mea Clin.* (en prensa).

6. COLTON, T.: Statistics in Medicine, pág 131. Little Brown Co. Boston, 1974.

7. MENEELY, G.; BALL, C. O.; KORY, R. C.; CALLAWAY, J. J.; MERRILL, J. M.; MABE, R. E.; ROEHM, D. C., y KALTREIDER, N. L.: A simplified closed circuit helium dilution method for the determination of the residual volume of the lungs. *Am. J. Med.*, 28: 824, 1960.



8. NUNN, J. F.: Applied respiratory physiology, pág. 426. Butterwoths. Londres. 1977.
9. WINTER, P. M., y SMITH, G.: The toxicity of oxygen. *Anesthesiol.*, 37: 210, 1972.
10. DON H. F.; WAHBA, D.; CUADRADO, L., y KELKAR, K.: The effects of anesthesia and 100 % oxygen on the functional residual capacity of the lungs. *Anesthesiol.*, 32: 521, 1970.
11. RAMACHANDRAN, P. R., y FAIRLEY, N. B.: Changes in functional residual capacity during respiratory failure. *Canad. Anesth. Soc. J.*, 17: 359, 1970.
12. DERY, R.; PELLETIER, J.; JACQUES, A.; CLAVET, M., y HOUDE, J.: Alveolar collapse induced by denitrogenation. *Canad. Anaesth. Soc. J.*, 12: 531, 1965.
13. WEINER, R. S., y COOPER, P.: Measurement of functional residual capacity. *Am. Rev. Tuberc. Resp. Dis.*, 74: 729, 1956.
14. DANTZKER, D. R.; WAGNER, P. D., y WEST, J. B.: Instability of lung units with low  $V_A/Q$  ratios during oxygen breathing. *J. Appl. Physiol.*, 38: 886, 1975.
15. WAGNER, P. O.; LARAVUSO, R.; UHL, R. R., y WEST, J. B.: Continuous distributions of ventilation-perfusion ratios in normal subjects breathing air and 100 %  $O_2$ . *J. Clin. Invest.*, 54: 54, 1974.
16. SAID, S. L., y BANERJEE, C. M.: Venous admixture to the pulmonary circulation in human subjects breathing 100 % oxygen. *J. Clin. Invest.*, 42: 507, 1963.
17. HLASTALA, M. P.; COLLEY, P. S., y CHENEY, F. W.: Pulmonary shunt: a comparison between oxygen and inert gas infusion methods. *J. Appl. Physiol.*, 39: 1048, 1975.
18. BRISCOE, W. A.: Lung volumes. Handbook of physiology. Respiration. Vol. II pág. 1345. *Am. Physiol. Soc. Washington*, 1965.
19. LEWIS, B. J.: Use of two inert gases to measure functional residual capacity. *J. Appl. Physiol.*, 31: 629, 1971.