

Departamento de Enfermedades  
Pulmonares de la Clínica de Medicina  
Interna de la Universidad de Groningen  
(Prof. Dr. H.J. Sluiter) y Sanatorio  
Boatrixoord de Haren, Groningen  
(Prof. Dr. J.K. Kraan), Holanda.

## UTILIZACION DEL TEST DE CAPACIDAD DE DIFUSION PULMONAR PARA PREDECIR LA CAIDA DE LA TENSION PARCIAL DE OXIGENO ARTERIAL DURANTE EL ESFUERZO

F. Gimeno, W.C. Berg, J.R. van Haeringen y R. Peset

### Introducción

Entre las técnicas de esfuerzo utilizadas usualmente en los laboratorios de exploración funcional pulmonar se encuentra la ergometría. En nuestros laboratorios, esta investigación supone el análisis de sangre arterial en reposo y durante diversos grados de esfuerzo previa canulación arterial, usualmente de la arteria braquial en la flexura del codo. La investigación supone cierta molestia para el paciente. Las investigaciones de Billiet<sup>1</sup> y Vandenberg<sup>2</sup> han demostrado que existe una relación entre la alteración de la difusión pulmonar y la caída de la saturación de oxígeno de la sangre arterial durante el esfuerzo en silicóticos. Ello permite en cierta medida su predicción. El objetivo del presente trabajo es repetir las investigaciones en otros pacientes pulmonares y ver si esta conclusión es válida con respecto a la tensión parcial de oxígeno arterial.

### Métodos y aparataje

**Espirometría:** Las técnicas de medición no difieren de las utilizadas corrientemente en los laboratorios de exploración funcional pulmonar. Los volúmenes medidos están expresados en condiciones BTPS, empleando los valores normales descritos por Tammeling<sup>3\*</sup>.

**Mecánica pulmonar:** Los parámetros deducidos de la medición de cambios de volumen y presión transpulmonar (trabajo respiratorio viscoso y compliance) han sido obtenidos utilizando la técnica descrita por Hilvering<sup>4\*\*</sup>.

\*. Se han utilizado espirómetros y ergómetros de bicicleta LODE (Lode N.V. Groningen, Holanda).

\*\* La presión transpulmonar ha sido medida con un manómetro diferencial GODART (modelo PAM 50085) (Godart N.V., De Bilt, Holanda).

\*\*\* Las determinaciones de sangre arterial se han realizado con el aparataje RADIO-METER (medidor de pH modelo 27 con un electrodo de vidrio 297/GZ, electrodo de membrana para CO<sub>2</sub> tipo E5031 y electrodo de membrana para O<sub>2</sub> tipo E5040, Radiometer, Copenhagen, Dinamarca).

**Gases en sangre:** Los gases en sangre han sido terminados de acuerdo con las técnicas descritas por Gimeno<sup>5\*\*\*</sup>.

**Factor de transferencia para el monóxido de carbono (CO) (capacidad de difusión):** Se ha utilizado el método de la respiración única (*single breath*), bien manual o bien semiautomático. La descripción teórica y práctica del método se encuentra en esta misma revista (Peset y Gimeno)<sup>6</sup>. Las determinaciones de la capacidad de difusión han sido realizadas en general el mismo día en que se realizaron las ergometrías, sin un orden preestablecido, pero con un amplio espacio de tiempo entre ambas determinaciones (unas 3 horas).

**Ergometría:** La prueba de esfuerzo consiste en el pedaleo aproximadamente constante (60 por minuto) en un ergómetro de bicicleta\* utilizando diferentes resistencias eléctricas que obligan al paciente a realizar trabajos de progresiva intensidad (25, 50, 75, etc., vatios) hasta su capacidad máxima tolerada. Esta es determinada subjetivamente por el paciente. La intensidad y duración de la prueba depende del entrenamiento y estado del paciente. En general se ha empezado con una intensidad de 50 W durante tres minutos aumentando 25 W cada tres minutos hasta el máximo tolerado por el paciente. Las muestras de sangre arterial para análisis de gases se tomaron cada tres minutos.

**Pacientes**

Los pacientes de esta serie fueron enviados para su exploración funcional pulmonar en un espacio de tiempo de tres meses. No hubo pues selección previa. El diagnóstico clínico fue confirmado en la mayor parte mediante técnicas auxiliares (biopsia, citología del esputo, etc.). El grupo de enfermedades pulmonares obstructivas crónicas ha sido clasificado en «reversible», «parcialmente reversible» e «irreversible», de acuerdo con el cambio experimentado por el cociente entre el volumen espiratorio forzado, 1 segundo, y la capacidad vital, después de 25 mg de thiazinamium (Multergan®). Se considera «reversible» cuando dicho cociente alcanza un valor mayor del 90 % del considerado normal en el sujeto examinado. «Parcialmente reversible» cuando el cociente permanece menor del 90 % del valor teórico normal y cambia más del 10 % del valor inicial. «Irreversible» cuando el cambio es menor del 10 % del valor inicial. La clasificación es un intento de evitar la confusión en la nomenclatura y puede ser objeto de discusión. Las características biológicas generales y diagnóstico de los pacientes estudiados se encuen-

tran en la tabla I. Los pacientes constituyen un grupo heterogéneo en lo que a la patología pulmonar se refiere. En la tabla II se encuentran los datos de la exploración funcional pulmonar. Estos han sido obtenidos en una fase estable de su enfermedad es

decir, fuera de un período agudo o febril. En la tercera columna de dicha tabla se encuentran los valores obtenidos después de la inyección intramuscular de 25 mg de thiazinamium (Multergan®) que han servido para diferenciar a los pacientes con una

TABLA II

**Exploración pulmonar funcional de los pacientes estudiados**

Número	TLC % normal	VC % normal	VEMS/CV (% normal)	Trabajo respirat. viscoso g cm ml	Compliance l/cm de H <sub>2</sub> O	PaCO <sub>2</sub> mm de Hg	PaO <sub>2</sub> mm de Hg	Capacidad de difusión (% normal)
1	112	92	89	4,8	0,23	43	88	157
2	98	98	87	2,0	0,18	35	82	112
3	87	82	116	2,0	0,30	46	90	71
4	79	76	52	10,0	0,24	37	95	86
5	104	76	49	15,0	0,15	49	63	66
6	107	94	104	7,5	0,17	36	76	100
7	121	100	100	5,0	0,22	39	76	136
8	87	61	60	8,0	0,18	45	83	86
9	63	50	120*	3,5	0,07	45	88	65
10	104	99	79*	4,6	0,33	39	67	67
11	100	100	82*	2,7	0,28	35	78	77
12	93	96	118*	0,9	0,24	40	97	99
13	116	77	90	3,9	0,26	46	66	126
14	82	92	112*	2,7	0,20	39	83	90
15	102	106	113	3,0	0,11	40	100	96
16	101	82	131	2,8	0,24	35	96	131
17	17	89	100	1,2	0,20	39	77	71
18	87	85		2,0	0,26	42	84	129
19	108	110	99	2,0	0,19	47	97	128
v. m. = 97		87	92	4,4	0,21	41	83	100

\* = valores obtenidos sin el efecto de 25 mg de thiazinamium intramuscular®)

TABLE I

**Información general y diagnóstico de los pacientes estudiados**

Número	Sexo	Altura	Peso	Edad	Diagnóstico
1	M	1,67	76	56	Tuberculosis pulmonar. Enfermedad pulmonar obstructiva crónica parcialmente reversible
2	M	1,64	68	47	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica parcialmente reversible
3	M	1,72	70	57	Tuberculosis pulmonar. Enfermedad pulmonar obstructiva crónica reversible
4	M	1,76	76	50	Sarcoidosis pulmonar
5	M	1,64	69	46	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica irreversible
6	F	1,60	65	41	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica reversible
7	M	1,60	79	40	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica reversible
8	M	1,70	80	60	Sarcoidosis pulmonar
9	F	1,52	48	17	Neurofibroma múltiple. Cifoesciosis
10	M	1,74	80	59	Carcinoma pulmonar
11	M	1,72	77	43	Carcinoma pulmonar después de radioterapia
12	M	1,80	72	31	Cardiomiopatía esclerodérmica. Descompensación izquierda
13	M	1,58	76	58	Corazón pulmonar. Enfermedad pulmonar obstructiva crónica irreversible
14	F	1,60	60	45	Sarcoidosis pulmonar
15	M	1,65	62	24	Papilomatosis laríngea después de radioterapia
16	F	1,71	55	32	Sarcoidosis pulmonar
17	M	1,78	76	34	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica reversible
18	M	1,76	75	37	Sarcoidosis pulmonar
19	F	1,71	59	22	Sarcoidosis pulmonar
Valor medio =		1,67	70	42	

M = masculino. F = femenino.

enfermedad obstructiva pulmonar crónica. Los demás valores han sido obtenidos sin el efecto de dicho medicamento. Como los datos clínicos los funcionales tampoco son homogéneos. Desde un punto de vista funcional existe una extensa gradación en nuestros pacientes, algunos presentan una función pulmonar prácticamente normal, otros claramente alterada y otros representan un grado intermedio.

**Resultados y discusión**

Los resultados obtenidos han sido resumidos en la tabla III. No creemos que el hecho de que nuestro grupo de pacientes sea heterogéneo invalide nuestros resultados, pues no se encontró ninguna relación entre el diagnóstico y el valor de la capacidad de difusión medido. En la segunda columna se encuentra el trabajo máximo tolerado por el paciente. 50 W es considerado en personas normales como un esfuerzo muy ligero, y 125 W como un esfuerzo de grado medio (Dampsey y col.<sup>7</sup>). El valor medio del trabajo tolerado por los pacientes es de 97 W lo cual demuestra una escasa tolerancia al esfuerzo. Ello se pone

TABLA III

Trabajo realizado, valor de la capacidad de difusión en porcentaje del valor teórico normal y cambios de los gases arteriales, y pH arterial en el grupo de pacientes estudiados (corridades correspondientes).

Número	Máximo esfuerzo tolerado (vatios)	Capacidad de difusión pulmonar (% normal) (TLCO)	$\Delta$ pH (unidades)	$\Delta$ CO <sub>2</sub> (mm de Hg)	$\Delta$ O <sub>2</sub> (mm de Hg)
1	100	157	-0,05	- 3,0	+ 5,0
2	100	112	-0,05	-11,0	+26,0
3	100	71	-0,01	- 5,0	+ 2,0
4	75	75	-0,03	0,0	- 3,0
5	100	66	-0,09	+ 0,0	-12,0
6	50	100	0,0	- 1,0	+12,0
7	100	136	-0,07	- 3,0	+14,0
8	75	86	-0,04	0,0	+ 1,0
9	100	65	-0,02	-19,0	0,0
10	100	67	-0,08	+ 2,0	- 1,0
11	100	77	-0,19	- 2,0	+ 4,0
12	50	99	-0,01	- 7,0	+ 6,0
13	125	126	-0,10	+ 6,0?	+11,0?
14	100	90	-0,07	- 6,0	+15,0
15	125	96	-0,07	- 6,0	+ 6,0
16	75	131	-0,11	- 1,0	+ 5,0
17	125	71	-0,03	- 9,5	- 7,0
18	125	129	-0,06	- 1,5	+17,0
19	125	128	-0,15	- 2,5	+ 1,0
v. m. =	97,3	100	-0,06	- 3,2	+ 5,4

también de manifiesto por el descenso del pH arterial durante el esfuerzo (tabla III, columna 3). Este descenso tiene un valor medio de -0,06 unidades de pH y se atribuye al metabolismo anaeróbico durante el esfuerzo (Whipp<sup>8</sup>). En algunos casos puede también atribuirse a hipoventilación alveolar durante el esfuerzo (tabla n.º 5, 10, 13) que es detectada por el aumento de la tensión parcial del CO<sub>2</sub> arterial. En las columnas 4 y 5 de la tabla II se encuentran los cambios del CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> arterial debidos al esfuerzo. Los valores medios encontrados como normales y suelen ser atribuidos a una mejor distribución del cociente ventilación/perfusión en el pulmón durante el ejercicio (Jones y col.<sup>9</sup>) o simplemente al aumento de dicho cociente. Sin embargo en los casos estudiados hay claras diferencias que se apartan del valor medio, por ejemplo los casos 5 y 10 tienen en común un aumento del CO<sub>2</sub> y una disminución del O<sub>2</sub> que señalan una insuficiencia respiratoria durante el ejercicio. El caso n.º 13 registra un aumento del CO<sub>2</sub> y del O<sub>2</sub> que nosotros no podemos explicar y que atribuimos a un error en la determinación del O<sub>2</sub>. Un grupo de los pacientes investigados presenta como característica común una disminución de la tensión parcial de oxígeno arterial con respecto a los valores obtenidos en reposo (n.º 4, 5, 10 y 17) lo que podría interpretarse como trastornos debidos a la difusión pulmonar que son inferiores al 90 % de los valores

considerados como normales, según los valores dados por Cotes<sup>10</sup>.

Los resultados de esta investigación ha sido resumido en la tabla IV. De los 19 pacientes investigados 10 tienen una capacidad de difusión mayor que el 90 % de su valor teórico normal y 9 menor o igual al 90 %. En los pacientes con una capacidad de difusión mayor que un 90 % teórico existe siempre un aumento de la tensión parcial del oxígeno arterial durante el esfuerzo. En los pacientes con una capacidad de difusión igual o menor que el 90 % teórico se ha observado un caso sin cambio cuatro con aumento y cuatro con disminución. Lo cual permite sacar la conclusión de que cuando un paciente tenga una capacidad de difusión ma-

TABLA IV

Cambios de la tensión parcial de oxígeno en sangre arterial (PaO<sub>2</sub> en mmHg) durante el esfuerzo en relación con la capacidad de difusión pulmonar en reposo (tico % normal).

	T <sub>ico</sub> > 90 % normal	T <sub>ico</sub> ≥ 90 % normal
Número	10	9
Ningún cambio del PaO <sub>2</sub> durante el esfuerzo	0	1
Aumento del PaO <sub>2</sub> durante el esfuerzo	10	4
Disminución del PaO <sub>2</sub> durante el esfuerzo	0	4

yor del 90 % del valor considerado como normal puede esperarse que no tendrá lugar una disminución de tensión parcial de oxígeno arterial durante el esfuerzo o se pondrá de manifiesto una insuficiencia respiratoria. En cambio la proposición inversa no es cierta, es decir, pacientes con una capacidad de difusión inferior al 90 % de su valor normal, pueden o no desarrollar cambios patológicos en los gases sanguíneos durante el esfuerzo.

La capacidad de difusión pulmonar expresada en tantos por cien del valor teórico normal ha sido comparada con los parámetros funcionales pulmonares medidos (espirometría, mecánica pulmonar, gases en sangre en reposo y durante el esfuerzo). Una análisis estadístico de esta comparación (coeficiente de correlación y test de significancia) ha dado una correlación mala, no significativa para todos excepto para la difusión pulmonar expresado como porcentaje del valor normal y la tensión de oxígeno arterial medido en el máximo esfuerzo. En este caso se obtuvo un coeficiente de correlación de r = 0,51 y significante a un nivel del 5 %. Esto concuerda con los datos publicados por Vanderbergh<sup>2</sup> sobre la relación existente entre la capacidad de difusión pulmonar y el cambio de saturación de oxígeno de la sangre durante el esfuerzo.

Agradecimiento. - Los autores agradecen la ayuda técnica prestada por las señoritas P. De-genhart y H. Posthumus.

Resumen

En un grupo de 19 pacientes con enfermedades pulmonares diversas se ha investigado la relación de la capacidad de difusión pulmonar medida en reposo con los cambios de los gases sanguíneos durante el esfuerzo. De los resultados obtenidos se concluye que cuando la capacidad de difusión pulmonar es superior al 90 % del valor teórico normal puede predecirse que los cambios de los gases sanguíneos durante el esfuerzo serán también normales, pero no así cuando sea inferior al 90 %. En este caso los cambios serán normales o patológicos.

## Summary

### UTILISATION OF THE TESTS OF PULMONARY DIFFUSION CAPACITY IN ORDER TO ESTIMATE THE DROP IN THE PARTIAL PRESSURE OF ARTERIAL OXYGEN DURING STRESS OR STRAIN

The relationship between pulmonary diffusing capacity at rest and the changes in blood gases during exercise has been investigated in 19 pa-

tients with different pulmonary diseases. From the results it is concluded that when the patients diffusion capacity is equal to or higher than 90 % of the predicted value, the changes in blood gases during exercise will also be normal. This is not the case when the value is lower than 90 %. In this case the changes in blood gases during exercise may be normal or pathological.

## BIBLIOGRAFIA

1. BILLIET, L.: De bepaling van de pulmonaore diffusiecapaciteit. *Tesis*, Bruselas, Bélgica. 1966.
2. VANDENBERGH, E., BILLIET, L., VAN DE WOESTIJNE, K.P., y GIJSELEN, A.: Relation between single-breath diffusing capacity and arterial blood gases in chronic obstructive lung disease. *Scand. J. Resp. Dis.*, 49: 92, 1968.
3. TAMMELING, G.J.: Standard values for lung volumes and ventilatory capacity of sanatorium patients. Selected papers of the *Royal Neth. Tub. Ass.*, 1: 65, 1961.
4. HILVERING, C.: Longmechanische onderzoeken bij patienten met longtuberculose. *Tesis*. Groningen, Holanda. 1963.
5. GIMENO, F.: Clinical blood gas analysis. *Tesis*. Groningen, Holanda. 1969.
6. PESET, R. y F. GIMENO: Medida del factor de transferencia con monóxido de carbono según la técnica de la respiración única. *Archivos de Bronconeumología*, 10: 6, 1974.
7. DAMPSEY, A.J. y RANKIN, J.: Physiologic adaptations of gastransport systems to muscular work in health and disease. *Amer. J. Physic. Med.*, 46: 582, 1967.
8. WHIPP, B.J., SCARD, CH. y WASSERMAN, K.: Oxygen deficit-oxygen debt relationships and efficiency of anaerobic work. *J. Appl. Physiol.*, 28: 452, 1970.
9. JONES, N.L., McHARDY, J.R., NAIMARK, A. y CAMPBELL, J.M.: Physiological dead space and alveolar arterial gas pressure differences during exercise. *Clin. Sci.*, 31: 19, 1966.
10. COTES, J.E.: Lung Function. *Blackwell Scientific Publications*. Oxford y Edinburgo. 1965.