

C.H.U. Nancy-Brabois. Service de  
Medecine Orientée vers  
l'Insuffisance Respiratoire (Prof. P.  
Sadoul)

## FUNCION CARDIORESPIRATORIA EN REPOSO Y LIMITACION ENERGETICA DEL BRONQUITICO CRONICO. RELACIONES \*

P. Romero Colomer \*\*

### Introducción

La disnea de esfuerzo constituye el síntoma central, común a una gama variada de bronconeumopatías crónicas. Los factores que intervienen su génesis son variados, dependiendo de la alteración funcional en cada caso particular.

La limitación de la capacidad energética inducida por la disnea refleja la reducción de la reserva funcional respiratoria. Por esta razón las relaciones entre la función pulmonar en reposo y la limitación de la capacidad energética han sido objeto de repetidos estudios en la broncopatía obstructiva crónica<sup>1-5</sup>. Todos ellos muestran una relación estrecha entre función pulmonar o el estado fisiopatológico de la enfermedad y la limitación de la capacidad energética.

La prueba de esfuerzo triangular permite, por otra parte, una determinación sencilla y rápida de la capacidad energética máxima valorada a través de la PMT (Potencia Máxima Tolerada) y el consumo de oxígeno a su nivel, según los trabajos de Giménez<sup>6</sup> en sujetos normales y Romero Colomer y Schrijen<sup>7</sup> en bronquíticos crónicos.

El objeto de este estudio es hallar las relaciones existentes entre la limitación de la capacidad energética máxima de una población de bronquíticos crónicos y diferentes aspectos de la función

pulmonar en reposo, fundamentalmente el grado de obstrucción, las alteraciones hemodinámicas y el recambio gaseoso pulmonar.

### Material y métodos

#### Sujetos

El estudio ha sido realizado sobre 47 sujetos diagnosticados de bronquitis crónica por medio de un cuestionario modificado del publicado en 1962 por la C.E.C.A. y adaptado por Mire<sup>8</sup> a la encuesta epidemiológica. En estos sujetos se ha practicado una exploración funcional consistente en: Espirometría simple en 47 casos, (100 %), gasometría arterial en 44 casos (34 %), análisis de la ductancia de CO en 37 casos (79 %), estudio hemodinámico pulmonar en reposo mediante cateterismo cardiaco derecho en 20 casos (43 %).

Los sujetos se encontraban, en el momento de su estudio, en situación estable dentro de su proceso evolutivo, no habiendo abandonado su terapéutica habitual.

#### Metodología

Los sujetos fueron reclutados entre los que, con un diagnóstico previo de broncopatía crónica obstructiva asistieron al laboratorio de exploración funcional pulmonar.

Posteriormente a las exploraciones antes descritas, y con un intervalo que en ningún caso superó los 17 días, fueron citados para efectuar un examen ergospirométrico en sesión única que se desarrolló como sigue: a su llegada el enfermo es tranquilizado explicándosele el contenido de la prueba a desarrollar. Se confirma la ausencia de modificaciones de su estado clínico desde el momento del estudio funcional y se efectúa un test corto de adaptación al cicloergómetro (pedaleo a carga nula), de forma a comprobar la ausencia de incapacidad para la prueba y la familiaridad con el uso de la bicicleta.

Tras un corto período de reposo, el sujeto es de nuevo instalado sobre la bicicleta ergométrica, efectuándose una prueba de ejercicio a carga creciente de 30 W cada 3 minutos hasta la detención del sujeto, sea espontánea u ordenada si el sujeto es incapaz de mantener la frecuencia de pedaleo (60 r.p.m.  $\pm$  5) impuesta.

La espirometría ha sido realizada en posición sentada con un espirógrafo Boullite de doble campana, habiéndose retenido para el estudio los siguientes parámetros: CV (espiratoria), VEMS, VEMS % CV y V.M.V. (ventilación máxima vo-

luntaria) a frecuencia libre. La Ductancia de CO ha sido medida según la técnica de Lacoste<sup>9</sup>, con el sistema descrito por este autor. La gasometría arterial (PaO<sub>2</sub> y PaCO<sub>2</sub>) medida en un analizador Radiometer Copenhagen BMS2MK2, la Sa O<sub>2</sub> medida por espectro fotometría con el CO-Oxímetro IL-182.

El estudio hemodinámico pulmonar ha sido realizado en posición supina por medio de un cateterismo cardiaco derecho con sonda de Cournand según metódica ya publicada (Romero Colomer y Schrijen<sup>10</sup>). De dicho estudio hemodinámico se ha retenido para el análisis las siguientes variables: presión arterial pulmonar media (P<sub>AP</sub>), presión motriz del lecho vascular pulmonar (dP<sub>AP</sub> = P<sub>AP</sub> - P<sub>CP</sub>), presión telediastólica del ventrículo derecho (P<sub>tdVD</sub>), gasto cardiaco (Q), índice cardiaco (I.C. = Q/S.C.), y resistencias vasculares pulmonares (RVP = dP<sub>AP</sub>/Q).

El examen ergospirométrico ha sido realizado sobre un cicloergómetro de Fleisch y las variables: ventilación (V<sub>E</sub>), consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>) y eliminación de CO<sub>2</sub> (VCO<sub>2</sub>), medidas mediante el metabógrafo de Fleisch, la frecuencia cardiaca (FC) ha sido medida a partir del Electrocardiograma registrado sobre un sistema Alvar-Praxigraph II modificado. La capacidad energética máxima se ha valorado según la PMT o potencia máxima tolerada, es decir: aquella que ha podido ser mantenida durante 3 minutos. Considerándose como máximas las variables registradas a su nivel: ventilación (V<sub>PMT</sub>), consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub> PMT) y frecuencia cardiaca (FC<sub>PMT</sub>).

### Resultados

#### 1) Valores individuales en la población estudiada

Son presentados en la tabla I, la amplia dispersión de los valores de PMT observados permite relacionar las diversas variables, cuyo rango llega desde los niveles más bajos, exponentes de importantes incapacidades energéticas, hasta valores elevados (de 180 y 210 W), que prácticamente entran dentro de la normalidad. La distribución de la población en relación a esta variable central es prácticamente gaussiana. Así tomando el VO<sub>2</sub>PMT como exponente de la capacidad energética de la población, el test de

\* Trabajo incluido en la Tesis Doctoral presentada en la Universidad de Valencia bajo el título: Fisiopatología del ejercicio muscular en el Bronquítico Crónico.

\*\* Dirección Actual: Ciudad Sanitaria Príncipes de España. Servicio de Aparato Respiratorio. Sección de Fisiopatología Respiratoria. Hospital de Llobregat. Barcelona.



TABLA I

Nombre	PMT	VO <sub>2</sub> (PMT)	VO <sub>2</sub> %T	Vmx	VEMS	VEMS %T	VEMS CV	VMV	RVA	DuCO %T	SaO <sub>2</sub>	PaO <sub>2</sub>	PaCO <sub>2</sub>	O <sub>A</sub> P	(P <sub>A</sub> P/P <sub>C</sub> P)	PtdVD	Q	I.C.	RVP
CAI	30	0,72	31	28	2,5	114	64	88	3,6	59	86	57	45	24	14	10	6,9	3,9	162
FLA	30	0,62	26	27	2,5	120	61	81	—	60	85	60	54	29	15	9	5,6	2,9	214
VIT	60	1,24	53	32	2,5	104	59	92	4,7	76	93	67	34	16	10	4	5,7	3,8	140
IRI	60	1,16	49	48	2,8	114	68	81	2,7	60	86	57	36	—	—	—	—	—	—
CER	60	1,18	50	72	3,5	143	71	108	—	—	83	52	36	—	—	—	—	—	—
LER	60	1,16	45	47	2,2	108	51	87	—	—	97	71	35	16	9	5	5,1	3,0	142
ALL	60	1,22	56	39	2,0	100	54	69	—	79	90	66	43	—	—	—	—	—	—
MAR	90	1,68	65	57	2,8	103	66	96	2,7	67	91	66	33	20	10	8	4,2	2,2	190
SIL	90	1,44	61	46	3,1	105	66	96	—	78	98	84	44	—	—	—	—	—	—
BAC	90	1,54	59	52	2,9	110	64	100	1,7	99	93	70	34	23	8	16	4,1	2,3	156
COL	90	1,97	76	44	3,3	—	70	—	—	65	94	74	29	—	—	—	—	—	—
THO	90	1,50	64	62	2,7	101	62	81	—	102	94	67	29	—	—	—	—	—	—
GRA	90	1,51	69	61	3,0	139	68	96	3,0	101	93	73	36	—	—	—	—	—	—
GAN	90	1,34	52	67	3,1	113	68	—	1,4	—	98	104	33	16	8	2	8,3	5,4	87
HUC	90	1,30	50	42	—	—	—	—	3,9	—	93	—	39	—	—	—	—	—	—
FER	90	1,42	60	36	3,0	106	62	96	5,4	70	94	—	41	—	—	—	—	—	—
GER	90	1,48	61	47	2,8	104	68	84	—	—	94	55	36	—	—	—	—	—	—
AUB	90	1,36	58	40	3,2	116	76	96	—	66	94	79	35	21	—	7	—	—	—
OLI	90	1,50	64	69	3,4	114	68	108	—	—	90	63	35	19	15	8	6,7	3,5	179
KRI	90	1,42	61	47	2,6	105	70	78	—	57	85	51	39	—	—	—	—	—	—
GIL	90	1,68	65	62	3,3	113	78	96	1,8	78	93	82	30	25	9	12	4,6	2,6	156
JAM	90	1,34	57	40	2,8	99	65	120	—	72	92	58	39	24	13	2	5,1	2,7	204
FRA	90	1,28	50	77	3,3	122	71	120	—	70	93	72	36	—	—	—	—	—	—
MAR	120	1,76	68	81	3,0	87	61	102	4,4	84	95	—	32	—	—	—	—	—	—
BLO	120	1,72	67	59	3,1	112	69	100	—	101	90	68	37	24	18	5	5,5	3,3	262
GRE	120	1,88	86	79	2,0	71	58	—	—	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CRO	120	1,66	64	63	1,8	68	50	51	—	105	—	—	—	—	—	—	—	—	—
GEL	120	1,92	74	79	3,1	102	67	108	2,5	82	94	76	39	21	—	12	4,8	2,6	—
GUI	120	1,74	62	88	3,3	90	64	108	—	88	93	74	37	—	—	—	—	—	—
HER	120	1,74	74	72	3,8	134	80	104	—	77	98	89	28	—	—	—	—	—	—
COU	120	2,06	87	71	2,8	105	63	87	—	65	99	81	32	15	5	9	5,9	2,9	204
LAU	120	2,04	87	79	3,2	128	71	99	—	58	90	62	35	19	11	7	5,3	2,8	166
ZEL	120	1,86	79	65	3,0	100	60	102	5,0	74	95	63	32	13	7	4	5,4	2,7	104
GRA	120	1,98	76	88	3,8	149	80	124	0,8	64	95	—	38	—	—	—	—	—	—
DIV	150	2,14	91	75	3,1	111	67	138	—	82	90	68	41	—	—	—	—	—	—
LAM	150	2,34	75	74	4,5	138	80	138	—	124	98	95	35	—	—	—	—	—	—
CHA	150	2,16	77	73	3,2	98	65	111	2,4	—	98	63	38	15	6	7	6,2	3,5	194
LOR	150	2,12	82	107	4,6	175	79	138	—	97	98	64	38	—	—	—	—	—	—
JAC	150	2,06	80	81	3,2	92	69	108	0,3	—	99	104	34	—	—	—	—	—	—
CLN	150	2,50	97	64	3,7	122	74	126	2,0	94	98	—	30	—	—	—	—	—	—
ADN	150	2,38	101	68	3,5	113	74	99	—	—	98	79	33	15	6	7	—	—	—
HOU	150	2,26	96	88	3,5	113	74	108	4,6	70	90	59	33	—	—	—	—	—	—
VIR	150	2,24	87	91	3,5	107	70	114	2,8	84	92	65	35	—	—	—	—	—	—
OUV	180	3,01	97	154	5,0	121	80	147	1,5	103	96	80	41	14	5	5	7,7	3,8	146
SIM	180	2,72	94	101	3,3	102	62	114	2,4	90	91	68	44	—	—	—	—	—	—
DAG	180	2,64	94	100	3,8	116	80	150	—	82	95	75	43	16	8	6	6,5	3,3	86
DEC	210	3,24	104	136	4,6	126	83	120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Kolmogorov-Smirnov confirma la hipótesis de normalidad antes aludida a un porcentaje de error inferior al 1 %.

2) *Relación entre el consumo de oxígeno a nivel de la PMT (VO<sub>2</sub>PMT) y las variables ventilatorias y del recambio gaseoso*

Dicha relación ha sido analizada mediante test de correlación-regresión lineal simple, cuyos resultados se encuentran expuestos numéricamente en la tabla II. El consu de oxígeno ha sido tomado, lógicamente, como variable dependiente, mientras que los diferentes parámetros cuya repercusión se pretende analizar constituyen las variables independientes. La figura 1 muestra gráficamente las relaciones estudiadas en este apartado entre los cuales la regresión lineal es significativa estadísticamente:

La relación con el VEMS en valor

absoluto es altamente significativa presentando el coeficiente de correlación más elevado ( $r = 0,668$   $p < 0,001$ ). La misma elevada significación estadística observamos entre la ventilación máxima voluntaria directa a frecuencia libre (VMV) y el VO<sub>2</sub>PMT, así como entre éste y la relación VEMS/CV×100 (o VEMS % CV). La mayor dispersión de la nube de puntos explica la menos estrecha correlación y la reducción del coeficiente R, fundamentalmente para el índice de Tiffeneau (VEMS % CV) ( $R = 0,504$ ).

La relación entre la capacidad máxima de ejercicio definida por VO<sub>2</sub>PMT y el rendimiento y calidad del recambio gaseoso pulmonar definido por la ductancia pulmonar al monóxido de carbono (DuCO) es buena. Superior si consideramos la DuCO en porcentaje del valor teórico (DuCO % T). El error estadístico es inferior al 1 % y la relación es evidente entre ambos paráme-

tros. El test de student aplicado a la pendiente en relación al caso ofrece una  $t = 2,9$  ( $p < 0,001$ ).

En cuanto a la relación con la gasometría arterial en reposo, es escasa en cuanto se refiere a las presiones parciales de oxígeno y anhídrido carbónico en sangre arterial; no obstante existe una relación aceptable y significativa con la saturación arterial ( $p < 0,01$ ), aún cuando podamos objetarnos sobre la justificación de aplicar un test de linealidad que incluya dicho parámetro.

3) *Relación entre la ventilación a nivel de la PMT (V̇PMT) y las variables ventilatorias y del recambio gaseoso*

La explotación estadística de estas ha sido realizada por test de correlación-regresión lineal simple y los resultados son consignados numéricamente en la tabla II. Observamos la relación más estrecha entre V̇PMT y

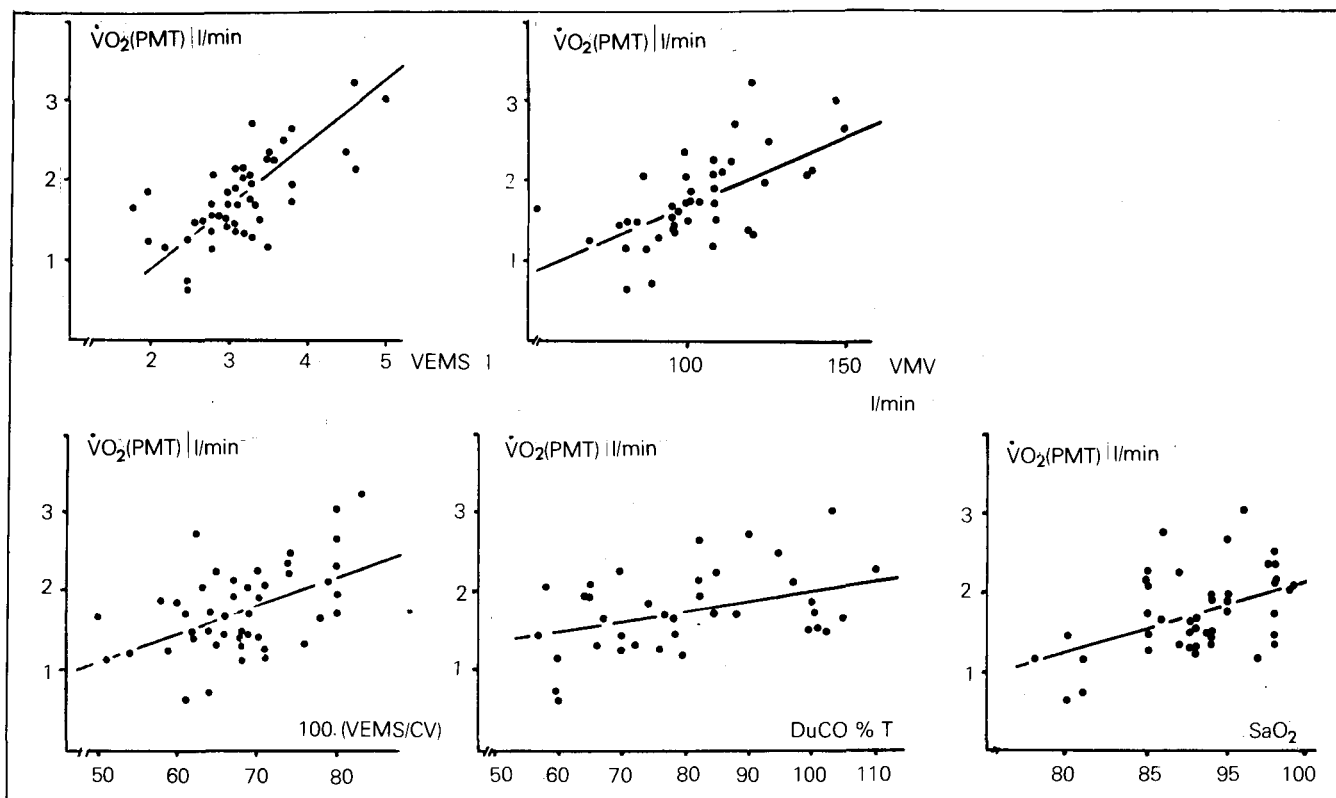


Figura 1

VEMS, con una escasa dispersión, el porcentaje de error estadístico es inferior al 1% y la relación es evidente entre ambos parámetros. Algo más dispersa pero igualmente buena es la correlación observada entre la VMV directa a frecuencia libre y la  $\dot{V}$  (PMT), el coeficiente de correlación es elevado y en ambos casos el porcentaje de error juzgado por medio del test de Student sobre la pendiente es inferior al 1%. La relación con el índice de Tiffeneau es más débil en relación a la mayor dispersión de la muestra, pero sigue siendo igualmente significativa.

La relación entre esta variable ( $\dot{V}$ PMT) y la ductancia pulmonar para el monóxido de carbono (DuCO) es mucho más pobre que entre esta última y el  $\dot{V}O_2$ PMT, encontrándose al límite de la significación estadística ( $p < 0,05$ ). Significativamente la relación entre la saturación oxihemoglobínica en reposo y la VPMT es mucho más pobre que con el  $\dot{V}O_2$ PMT.

4) Relación entre el consumo de oxígeno a nivel de la PMT y las variables hemodinámicas en reposo

Globalmente consideradas, las relaciones entre ambas son escasas, como puede observarse en la Tabla II, exclusivamente encontramos un relación lineal bastante satisfactoria entre el

$\dot{V}O_2$ , y la presión arterial pulmonar media ( $P_{AP}$ ), no existiendo relación apreciable entre la  $\dot{V}O_2$ , y la presión de llenado ventricular (PtdVD), las resistencias vasculares pulmonares (RVP) o el índice cardiaco (I.C.) medidos en reposo.

En cuanto a la presión motriz pulmonar (dPAP), el análisis de regresión lineal no muestra una relación entre ambas variables, como puede observarse en la tabla II y figura 2-a. En base, sin embargo, a la expresión gráfica de la relación entre ambas varia-

TABLA II

	$\dot{V}O_2$ (PMT)	V (PMT)
VEMS	$r = 0,668$ $y = 0,828x - 0,848$ N = 46 ***	$r = 0,705$ $y = 27,48x - 19,03$ N = 46 ***
VEMS%CV	$r = 0,504$ $y = 0,035x - 0,618$ N = 46 ***	$r = 0,501$ $y = 1,648x - 44,23$ N = 46 ***
VMV	$r = 0,635$ $y = 0,017x - 0,016$ N = 43 ***	$r = 0,636$ $y = 0,817x - 16,41$ N = 43 ***
DuCO	$r = 0,421$ $y = 0,013x + 0,696$ N = 37 **	$r = 0,393$ $y = 0,620x + 16,86$ N = 37 *
SaO <sub>2</sub>	$r = 0,464$ $y = 0,058x - 3,749$ N = 44 **	$r = 0,299$ $y = 1,786x - 100,6$ N = 44 *
PaCO <sub>2</sub>	$r = -0,20$ N = 44 n.s.	$r = -0,08$ N = 44 n.s.
PaO <sub>2</sub>	$r = 0,275$ N = 39 n.s.	$r = 0,210$ N = 39 n.s.
RVA	$r = -0,33$ N = 21 n.s.	$r = -0,46$ $y = 94,71 - 9,037x$ N = 21 *
	$\dot{V}O_2$ (PMT)	Fc(PMT)
P <sub>AP</sub>	$r = -0,61$ $y = 3,252 - 0,080x$ N = 20 **	$r = -0,23$ N = 20 n.s.
$\Delta O_{AP}$	$r = -0,43$ $y = 3,252 - 0,061x$ N = 18 n.s.	$r = -0,47$ N = 18 n.s.
PtdVD	$r = -0,08$ N = 20 n.s.	$r = 0,092$ N = 20 n.s.
I.C.	$r = -0,06$ N = 18 n.s.	$r = -0,49$ $y = 194,2 - 16,83x$ N = 18 *
RVP	$r = -0,20$ N = 17 n.s.	$r = 0,016$ N = 17 n.s.

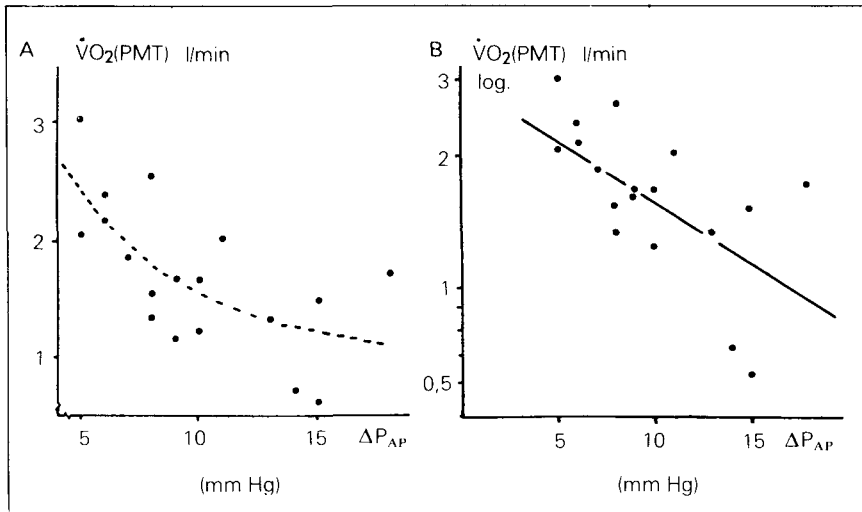


Figura 2

bles se ha considerado la posibilidad de una relación curvilínea, posiblemente de carácter exponencial, la cual ha sido confirmada en la representación sobre coordenadas semilogarítmicas (Fig. 2-b). El análisis de regresión muestra tras esta transformación un coeficiente de correlación elevado ( $r = -0,607$ ) y la ecuación de regresión, exponente de la mejor relación entre ambas variables adopta la forma:

$$\dot{V}O_2 \text{ PMT} = 1,068^{(19,0 - \Delta P_{AP})}$$

Curva exponencial representada en la Fig. 2-a.

##### 5) Relación entre la frecuencia cardiaca a nivel de la PMT y las variables hemodinámicas en reposo

La tabla II muestra la debilidad de estas relaciones. Salvo una débil relación con el gasto cardiaco, cuya representación gráfica ha mostrado que podría deberse a un caso extremo, no existe relación entre las variables consideradas.

#### Discusión

Una visión general de los resultados obtenidos permite constatar la estrecha relación existente entre la situación ventilatoria de estos enfermos en reposo y la limitación de la capacidad energética.

La intensidad y gravedad del síndrome obstructivo aparece como el factor primordial de limitación de la capacidad máxima de ejercicio y ello es compatible con los resultados previos de otros autores como Jones y cols.<sup>3</sup>, Cotes<sup>11</sup>, y Rühle K.H. y cols.<sup>5</sup>, quienes

encuentran igualmente una estrecha relación entre la capacidad ventilatoria en reposo o la intensidad de la obstrucción bronquial y la limitación energética.

De forma indirecta, los hallazgos de Marcus y cols.<sup>1</sup> y Hüttemann y Schüren<sup>4</sup> se encuentran próximos a los presentados, aún cuando la distinción entre bronquitis crónica, enfisema y enfermos mixtos hecha por estos autores ha sido rechazada en nuestra casuística considerando la artificialidad de cualquier técnica que pretenda la precisa separación de estos grupos, como ha sido expuesto en anteriores ocasiones Sadoul y Polu<sup>12</sup>. Si consideramos la casuística de estos autores, independientemente pues de que se trate de bronquíticos crónicos «puros» o «complicados», para ambos autores las más bajas capacidades energéticas se asocian a las más elevadas resistencias bronquiales, o a la reducción de la superficie alveolo-capilar efectiva, con la consecuente disminución de la capacidad de fisión para el CO. Las alteraciones más marcadas en los enfermos con «enfisema predominante» originan en estos los más bajos niveles energéticos, según Hüttemann y Schüren<sup>4</sup>. Para Marcus y cols.<sup>1</sup> la limitación de ejercicio iría ligada a la suficiencia del rendimiento mecánico tóraco-pulmonar en el bronquítico y por el contrario a la reducción de la capacidad de difusión en el enfisematoso.

El análisis de las relaciones entre los parámetros ventilatorios y la capacidad energética confirma la estrecha relación entre esta y el VEMS, VEMS % CV y VMV constatada previamente por los autores citados. En particular la mejor relación observada

con el VEMS que con la relación VEMS%CV podría estar en relación al hecho de que este último es un índice más de carácter cualitativo que cuantitativo de la obstrucción bronquial. De hecho, resultados similares fueron obtenidos en los primeros estudios realizados por Gandevia<sup>13</sup>.

Para interpretar la relación entre las alteraciones de la dinámica bronquial y la capacidad energética máxima debemos partir de los estudios realizados en 1966 por Hyatt y Flath<sup>14</sup> y en 1969 por Olafsson y Hyatt<sup>15</sup>, los cuales mostraron que cuando la presión transpulmonar en el curso de la ventilación (fase respiratoria), excede la presión efectiva máxima, el flujo se encuentra limitado y la ventilación es ineficaz, puesto que a un incremento superior de presión, y por tanto de esfuerzo respiratorio, no sigue un incremento de flujo y si un trabajo respiratorio superior y en consecuencia un gasto energético-metabólico adicional. Los sujetos normales raramente desarrollan durante el ejercicio presiones transpulmonares en exceso de dicha presión efectiva máxima, de tal forma que pueden mantener un patrón ventilatorio mecánicamente eficaz, aún por encima del stress energético máximo.

Las bronconeumopatías crónicas muestran, en relación al grado de obstrucción bronquial, una reducción de la presión efectiva máxima y un incremento del trabajo ventilatorio, como ha sido constatado por Grimby y Stiksa<sup>16</sup> y Potter y cols.<sup>17</sup>, lo cual, acogiéndonos a la tesis de Hyatt y Flath<sup>14</sup>, explicaría el superior costo energético de la ventilación, incrementado a elevados niveles ventilatorios y limitante de la eficacia de esta en los enfermos bronconeumopatas obstructivos crónicos, como mostró Levinson y Cherniack<sup>18</sup>.

Estudios recientes (Hannhart y cols.<sup>19</sup>) sugieren una modificación de este mecanismo limitante, de tal forma que el enfermo obstructivo poseería una reserva de flujo que de hecho es capaz de utilizar en el curso del ejercicio, modificando adecuadamente su posición (volumen) tóraco-pulmonar y aprovechando las modificaciones mecánicas durante el ejercicio. La limitación vendría ligada a una insuficiencia central o periférica para mantener este nivel de aprovechamiento que en cualquier caso impone una distorsión excesiva de la cinemática costo-diafragmática.

Cualquiera de los mecanismos considerados explica que la correlación observada en nuestros resultados sea más estrecha considerando la ventilación máxima de ejercicio que el con-



sumo de oxígeno. En consecuencia la limitación ventilatoria de ejercicio de estos sujetos sería la razón primordial de su incapacidad. La capacidad de difusión para el monóxido de carbono juzgada a través de la ductancia pulmonar para este gas muestra una relación aceptable con el  $\dot{V}O_2$  PMT y menos significativa con la ventilación. La interpretación de este hecho es más compleja si nos limitamos a analizarlo aisladamente, dada la gran variedad de factores que determinan la eficacia del intercambio gaseoso a nivel de la superficie alveolo-capilar. Podemos deducir que las alteraciones de la distribución regional, tanto de ventilación como de perfusión como de sus relaciones, serían los que de forma primaria repercutirían sobre la capacidad energética. La relación entre ésta y la  $\text{DuCO}$  sería secundaria a la dependencia entre este parámetro y los anteriores.

La gasometría arterial en reposo se encuentra poco relacionada a la capacidad energética máxima. La escasa correlación entre la  $\text{pAO}_2$  en reposo y la capacidad energética máxima ha sido observada previamente en silicóticos, afectados o no de bronquitis crónica (Refsum<sup>20</sup>). Sin embargo, para Marcus y cols.<sup>1</sup>, existiría una buena relación entre la  $\text{PaO}_2$  y la capacidad energética, que interpreta como una disminución de la respuesta del centro respiratorio, tras hallar elevados valores de  $\text{PaCO}_2$  en reposo en sujetos con reducida respuesta ventilatoria durante el ejercicio. Nuestros resultados actuales no permiten, sin embargo, contradecir lo expuesto por este autor al tratarse de sujetos estabilizados, cuya capnia arterial en ningún caso sobrepasó los 55 mm de Hg. Estamos de acuerdo con su opinión de que las alteraciones del intercambio gaseoso, sea por razones preferentemente ventilatorias, perfusorias o de la distribución regional de las relaciones V/Q, juegan un papel fundamentalmente sospechado en la limitación energética de estos enfermos como mostramos en un artículo publicado anteriormente Romero Colomer y cols.<sup>21</sup>.

Tanto Jones y cols.<sup>3</sup>, como Marcus y cols.<sup>1</sup> y Huttemann y Schüren<sup>4</sup> observan que la limitación de la capacidad energética es superior en los enfisematosos que en los bronquíticos crónicos. Los dos últimos autores teorizan sobre la participación en dicha diferencia de una mayor afectación del lecho vascular pulmonar y repercusión hemodinámica en los enfermos enfisematosos. Estos resultados se aproximan a los observados por nosotros anteriormente (Romero Colomer y Schrijen<sup>10</sup>,

Filley y cols.<sup>22</sup>, no observó, sin embargo, diferencia entre los grupos, y Gabriel<sup>2</sup>, llega a afirmar que el sistema cardio-vascular de estos enfermos no se encuentra «entresacado» a niveles máximos de ejercicio, a juzgar por la frecuencia cardíaca máxima y el pulso de oxígeno absoluto.

Sin pretender confirmar o contestar los resultados anteriores, nuestra casuística actual muestra una relación entre la intensidad de la afectación funcional en reposo del lecho vascular y la capacidad energética máxima mediante las buenas correlaciones lineales existentes entre ésta y la post-carga ventricular (presión arterial pulmonar media). Al mismo tiempo que se relaciona con la presión motriz del lecho vascular mediante una función exponencial, con idénticamente buen índice de correlación. La relación de la frecuencia cardíaca máxima, en valor absoluto, y las variables hemodinámicas en reposo, es nula, lo que confirmaría nuestros resultados anteriores (Romero Colomer y Schrijen<sup>10</sup> y Romero Colomer y cols.<sup>23</sup>), así como los resultados de Marcus y cols.<sup>1</sup> y Huttemann y Schüren<sup>4</sup> sin contestar directamente los resultados de Gabriel<sup>2</sup>, pero sí su interpretación.

Estos mismos resultados concuerdan con las afirmaciones de diversos autores que advierten el peligro de utilización de la frecuencia cardíaca de ejercicio en valor absoluto para juzgar la limitación energética en los enfermos respiratorios o la participación hemodinámica en dicha limitación<sup>24-27</sup>.

De hecho la escasa relación observada entre el VEMS (en valor absoluto) y la presión arterial pulmonar media en los 20 enfermos en los cuales ésta última ha sido estudiada, sugiere una independencia entre ambos parámetros. El coeficiente de correlación no muestra significación estadística ( $R = -0,348$ ) suficiente y, en consecuencia, debemos suponer que la relación entre la capacidad energética y la  $\text{P}_{\text{AP}}$  es independiente de la observada entre la capacidad energética y el VEMS.

Independientemente, pues, de la posible repercusión hemodinámica de los trastornos mecánicos inducidos por la obstrucción bronquial, debemos considerar la existencia de una participación de las alteraciones de la dinámica sanguínea en la determinación de la capacidad energética máxima, como ya sugerimos en estudios anteriores<sup>10,23</sup>.

El análisis por correlación lineal múltiple de la dependencia del consumo de oxígeno en el curso de la PMT con respecto a las variables discutidas (VEMS y  $\text{P}_{\text{AP}}$ ) es posible, considerando la re-

lativa independencia entre ambos en nuestra casuística. Ello permite una neta mejora del coeficiente de regresión lineal. La regresión múltiple adopta la siguiente ecuación:

$$\dot{V}O_2 \text{ (PMT)} = 0,513 - 0,05 \text{ (P}_{\text{AP}}) + 0,688 \text{ (VEMS)}$$

Cuyo coeficiente de correlación ( $R = 0,886$ ) es netamente superior al obtenido, considerando únicamente la obstrucción en la predicción de la capacidad energética máxima.

Dicho coeficiente de correlación es superior al hallado por Rühle y cols.<sup>5</sup> que considera la relación VR/TLC y la presión arterial pulmonar diastólica como mejores exponentes de la afectación ventilatoria y hemodinámica. Su coeficiente de correlación ( $R = 0,711$ ) es netamente inferior, si se considera que la casuística es similar a la nuestra ( $n = 24$ ), no obstante, éste mejora de forma manifiesta al considerar otras variables que, en nuestra casuística no presentan una clara relación, tales como el exceso de base (B.E.) y la capacidad funcional (CRF).

## Conclusión

Podemos afirmar a partir del análisis de nuestros resultados que:

1) De acuerdo con los autores revisados en la literatura, la relación entre las alteraciones mecánicas y obstrucción bronquial, por un lado, y la capacidad energética por otro es muy estrecha, sugiriendo un predominio de los factores mecánicos ventilatorios en la limitación de la capacidad energética de estos enfermos.

2) La relación entre la capacidad de ejercicio físico y la ductancia pulmonar para el monóxido de carbono sugiere la existencia de trastornos de la eficacia del intercambio gaseoso, debidos, sea a las alteraciones de distribución ventilatoria inducidos por la obstrucción bronquial, o más verosímelmente a alteraciones simultáneas de la ventilación y perfusión y de las relaciones regionales entre ambos. Probablemente en el mismo sentido deba interpretarse la relación observada entre la saturación arterial en oxígeno y la capacidad energética máxima.

3) La relación entre la capacidad energética máxima y la dinámica sanguínea pulmonar debe ser considerada en nuestra casuística, de forma independiente a las alteraciones de la dinámica bronquial. Dicha relación es interpretada como participación, en la limitación de la capacidad energética, de las alteraciones hemodinámicas in-



ducidas por las modificaciones del lecho vascular pulmonar, de forma complementaria a la limitación inducida por las alteraciones obstructivas bronquiales. Explicando, de esta forma, las limitaciones energéticas observadas en sujetos con reserva ventilatoria eficaz, como fue sugerido anteriormente<sup>10</sup>.

4) De acuerdo con nuestros resultados anteriores<sup>7</sup>, podemos afirmar según los resultados de este estudio que la PMT obtenida a partir de un ejercicio de carga progresivamente creciente de 30 W cada 3 minutos muestra ser un dato valioso y sintético de la limitación energética del sujeto, más fácil de determinar que la mayoría de las pruebas de ejercicio y perfectamente relacionado a la situación clínica y funcional de los enfermos.

### Resumen

Se han estudiado 47 enfermos afectados de Bronquitis Crónica. Un estudio funcional en reposo, comprendiendo: espirometría, análisis de la ductancia para el CO<sub>2</sub>, y hemodinámica pulmonar, ha precedido la determinación de la PMT (potencia máxima tolerada). Esta se ha efectuado mediante un ejercicio

triangular con progresión de carga de 30 vatios/3 minutos. Se halla una excelente relación entre el consumo de oxígeno y la ventilación a nivel de la PMT y el VEMS, VMV directa y VEMS%CV. El consumo de O<sub>2</sub> a nivel de la PMT estuvo excelentemente relacionado a la P<sub>AP</sub> y a la diferencia P<sub>AP</sub> - P<sub>cp</sub>. La frecuencia cardiaca a nivel de la PMT no estuvo relacionada a la situación hemodinámica pulmonar en reposo. El autor concluye: a) el predominio de los factores ventilatorios en la limitación de la capacidad energética del B.C. b) La señalada participación de las alteraciones hemodinámicas, de distribución ventilatoria y recambios gaseoso en dicha limitación, y c) La validez y excelente aplicabilidad clínica de la PMT como parámetro sintético, definitorio de la capacidad energética máxima.

### Summary

#### CARDIORESPIRATORY FUNCTION AT REST AND ENERGETIC LIMITATIONS OF THE CHRONIC BRONCHITIC. RELATIONS.

The authors have studied the cases of 47 patients suffering from chronic

bronchitis. A functional study at rest, consisting of: spirometry, analysis of ductance for the CO<sub>2</sub>, and pulmonary hemodynamics, preceded the determination of the MPT (maximum power tolerated). This was carried out by means of a triangular exercise with progression from a load of 30 watts/3 minutes. The authors found an excellent relation between the consumption of oxygen and the ventilation at the level of the MPT and the VEMS, direct VMV and VMS%CV. The consumption of O<sub>2</sub> at the level of MPT was related excellently to P<sub>AP</sub> and to the difference P<sub>AP</sub>-P<sub>cp</sub>. Cardiac frequency at the level of the MPT was not related to the pulmonary hemodynamic situation at rest. The author concludes: a) the predominance of ventilatory factors in the limitation of the energetic capacity of the C.B.; b) the notable participation of hemodynamic alterations, of ventilatory distribution and, of gaseous exchange in this limitation; and c) the validity and excellent clinical applicability of the MPT as a synthetic parameter, which defines maximum energetic capacity.

### BIBLIOGRAFIA

- MARCUS, J. M., McLEAN, R. L., DUFEL, G. M., e INGRAN, R. H.: Exercise performance in relation to the pathophysiologic type of chronic obstructive pulmonary disease. *Amer. J. Med.*, 49: 14, 1970.
- GABRIEL, S. K.: Respiratory and circulatory investigations in obstructive and restrictive lung disease. Part III: Exercise tolerance in patients with obstructive and lung disease. *Acta Med. Scand.*, Suppl. 546, 1971.
- JONES, N. L., JONES, G., y EDWARDS, R. H. J.: Exercise tolerance in chronic airway obstruction. *Amer. Rev. Resp. Dis.*, 103: 477, 1971.
- HUTTEMANN, U. y SCHUREN, K. P.: Chronisch obstruktive Lungenerkrankungen. Das Verhalten von Ventilation, Sauerstoffverbrauch und arterieller Lactat-Konzentration unter ergonomische Belastung. *Pneumologie*, 150: 281, 1974.
- RUHLE, K. H., FISCHER, J. y MATHYS, H.: Prediction of exercise limiting factors in patients with chronic obstructive lung disease. Entretien de Physiopathologie Respiratoire 11<sup>e</sup> Série. *Bull. Europ. Physio-Path. Resp.* (En prensa), 1978.
- GIMENEZ, M.: Epreuves triangulaires et rectangulaires dans la détermination de la prise maximale d'oxygène. Atti del I Congreso della Società Italiana de Fisiopatología Respiratoria. Catania 1971.
- ROMERO COLOMER, P. y SCHRIJEN, F.: Comparaison des résultats de trois types d'exercices obtenus dans un groupe de pulmonaires chroniques. *Bull. Physio-Path. Resp.*, 11: 203, 1975.
- MIRE, B.: Frecuencia de la bronchite crónica y des perturbations fonctionelles liées à des diverses nuisances. Thèse Doct. Université de Nancy 94 p. dactyl. Nancy 1974.

- LACOSTE, J.: La ductance du CO (monoxyde de carbone), evaluation globale, non sanglante, non spécifique, de l'échangeur pulmonaire. *Press. Med.*, 79: 1781, 1971.
- ROMERO COLOMER, P. y SCHRIJEN, F.: Hémodynamique pulmonaire à l'exercice et puissance maximale tolérée dans les bronchopneumopathies chroniques. *Bull. Physio-Path. Resp.*, 10: 301, 1974.
- COTES, J. E.: Factors wich limit exercise. *Lung Function*, 275. Blackwell Scient. Publ. Oxford, 1975.
- SADOUL, P. y POLU, J. M.: Aspects cliniques de la bronchite chronique. *Bull. Physio-Path. Resp.*, 9: 861, 1973.
- GANDEVIA, B.: Ventilatory response to exercise and the results of a standardized exercise test in chronic obstructive lung disease. *Respiration*, 20: 406, 1963.
- HYATT, R. E. y FLATH, R. E.: Relationship of airflow to pressure during maximal respiratory effort in man. *J. Appl. Physiol.*, 21: 477, 1966.
- OLAFFSON, S. y HYATT, R. E.: Ventilatory mechanics and expiratory flow limitation during exercise in normal subjects. *Clin. Invest.*, 48: 564, 1969.
- GRIMBY, G. y STIKSA, J.: Flow-volume curves and breathing patterns during exercise in patients with obstructive lung disease. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, 25: 303, 1970.
- POTTER, W. A., OLAFFSON, S. y HTATT, R. E.: Ventilatory mechanics and expiratory flow limitation during exercise in normal subjects. *Clin. Invest.*, 50: 910, 1971.
- LEVISON, H. y CHERNIACK, R. M.: Ventilatory cost of exercise in chronic obstructive pulmonary disease. *J. Appl. Physiol.*, 25: 21, 1968.
- HANNHART, B., PESLIN, R., y BOHADANA, A. y TECULESCU, D.: Limitations ventilatoires de l'exercice chez le malade obs-

- tructif. Entretien de Physiopathologie Respiratoire 11<sup>e</sup> Série. *Bull. Europ. Physio-Path. Resp.* (en prensa), 1978.
- REFSUM, H. E.: Pulmonary gas exchange during and after exercise of short duration in silicosis. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, 29: Suplemento 121, 1972.
- ROMERO COLOMER, P., GARCIA CARMONA, T., SOBRADILLO, V. y GIMENEZ, M.: Metabolisme glycolytique pendant l'exercice musculaire dans les bronchopneumopathies chroniques non hypoxémiques. *Bull. Physio-Path. Resp.*, 11: 215, 1975.
- FILLEY, G. F., BECKWITT, H. J., REEVES, J. T. y MITCHELL, R. S.: Chronic obstructive pulmonary disease II: Oxygen transport in two clinical types. *Amer. J. Med.*, 44: 26, 1968.
- ROMERO COLOMER, P., GARCIA CARMONA, T. y GIMENEZ, M.: Interet de l'épreuve d'exercice triangulaire. Sessions d'Enseignement Post-Universitaire: 17, Editions de la Faculté de Medecine de Nancy, 1973.
- SADOUL, P., SCHRIJEN, F. y GIMENEZ, M.: Is heart rate a reliable index of exercise tolerance in chronic bronchitis and silicosis? *Scand. J. Resp. Dis.*, Suplemento 77: 140, 1971.
- HANNHART, B. y ROMERO COLOMER, P.: Elements d'évaluation de la capacité d'effort physique: la PMS. Sessions d'Enseignement Post-Universitaire: 43, Editions de la Faculté de Medecine de Nancy, 1973.
- MINH, V. D., LEE, H. M., SHEPARD, J. W. y VAZQUEZ, P.: Relationship between VO<sub>2</sub> max and cardiopulmonary function at exhaustive workload in patients with chronic obstructive lung disease. Entretien de Physiopathologie Respiratoire 11<sup>e</sup> Série. *Bull. Europ. Physio-path. Resp.* (en prensa), 1978.
- ROMERO COLOMER, P.: Discusión a la presentación de MINH, V.D., cita 26. *Bull. Europ. Physio-Path. Resp.* (En prensa), 1978.