

# Estudio de las modificaciones espirométricas inducidas a largo plazo por buceo con oxígeno

Lucas Martín, M.C. \*

Martínez González-Moro, I \*\*

Sánchez Gascón, F. \*\*\*

Pujante Escudero, A.P. \*

Santonja Medina, F. \*\*

## RESUMEN

El objeto del presente trabajo es valorar la repercusión a largo plazo del buceo con oxígeno en la función pulmonar; para ello se ha realizado espirometría forzada a 18 sujetos varones buceadores que han utilizado en sus inmersiones habituales oxígeno puro o mezclas hiperóxicas (9 buceadores en activo y 9 ex-buceadores) y se han comparado los resultados con los de un grupo control. Hemos obtenido diferencias significativas en todas las variables de la espirometría forzada entre buceadores activos y ex-buceadores, por lo que pensamos que dichas variaciones podrían relacionarse con las exposiciones hiperóxicas repetidas.

## SUMMARY

The object of the present work is to evaluate the long term repercussions of deep-sea diving with oxygen on the pulmonary function. To do this, forced spirometry was carried out on 18 subjects, male divers who during normal immersions used pure oxygen or hyperoxic mixtures (9 currently active divers and 9 ex-divers) and the results have been compared with those of a control group. We have obtained significant differences in all the forced spirometric variables between active divers and ex-divers and we therefore believe that these variations could be related to repeated exposure to hyperoxics.

## INTRODUCCION

El oxígeno respirado a presión elevada se comporta como un gas tóxico cuyos efectos se manifiestan después de un período de latencia variable e inversamente proporcional a la presión a la que se inhala. Se admite, en general, que no se presentan efectos adversos cuando esta presión es inferior a 0.5 ATA(\*)<sup>1</sup>.

Existe unanimidad en aceptar el hecho de que las exposiciones hiperóxicas superiores a 2 ATA producen afectación neurológica principalmente que se manifiesta por la aparición de crisis epileptiformes (efecto Paul Bert); la toxicidad pulmonar se manifiesta a presiones inferiores, entre 1-2 ATA ocasionando un cuadro de into-

xiación aguda que cursa con sensación de quemazón retroesternal, tos y disnea<sup>2,3</sup>. Las lesiones pulmonares consisten en edema y hemorragia alveolar fundamentalmente, pudiendo encontrar membranas hialinas en estadios más avanzados<sup>4</sup>. Las manifestaciones de fibrosis corresponden a exposiciones de carácter crónico.

## AGRADECIMIENTOS

A la Unidad Especial de Buceadores de Combate y al personal del Centro de Buceo de la Armada de Cartagena, que hicieron posible este estudio.

\* Unidad de Investigación. Centro de Buceo de la Armada. Cartagena.

\*\* Centro de Medicina del Deporte. Universidad de Murcia.

\*\*\* Tte. San. (Med). Departamento de Medicina Interna. Universidad de Murcia.

(\*) ATA = Presión de 1 atmósfera a nivel del mar (presión absoluta).

	BUCEADORES	EX BUCEADORES	CONTROLES
EDAD (años)	28,44 ± 6,46	40,66 ± 7,39	35,93 ± 5,32
TALLA (cm)	173,55 ± 6,44	171,33 ± 4,38	174,43 ± 4,87
PESO (Kg)	80,00 ± 1,75	82,88 ± 9,04	78,73 ± 8,91

**TABLA I: MEDIDA Y DESVIACION TIPICA DE LA EDAD, TALLA Y PESO**

Numerosos trabajos valoran la modificación a corto plazo de las capacidades y/o flujos pulmonares bajo condiciones de hiperoxia (FVC, DLCO, FEV1, FEV25-75% y otros), aunque los distintos autores no se ponen de acuerdo respecto a si alguno de estos parámetros puede considerarse como índice de toxicidad por cuanto, en líneas generales, estas variaciones revierten a la normalidad tras un período de tiempo no bien determinado<sup>3,5</sup>.

Por otra parte, son escasos los estudios que valoran la modificación de estas y otras variables espirométricas a largo plazo, esto es, en individuos que si bien se someten a hiperoxia de forma intermitente (situación que induce modificaciones reversibles), lo hacen de manera periódica a lo largo de años.

Todo ello nos ha llevado a la elaboración del presente trabajo cuyo objetivo es aclarar si las alteraciones espirométricas pueden tener un carácter de no reversibilidad cuando se valoran a largo plazo en sujetos que han sido sometidos a hiperoxia repetidamente.

## MATERIAL Y METODOS

Hemos realizado nuestro estudio en un grupo de dieciocho buceadores divididos en dos subgrupos (A y B) de nueve personas cada uno; A: Buceadores en activo y B: Exbuceadores; pertenecientes todos ellos a una unidad especial de la Armada que utiliza en sus inmersiones habituales oxígeno puro o mezclas sobreoxigenadas. Sus edades oscilan entre los 20 y los 59 años. El grupo control (C) lo forman quince individuos no buceadores de características antropométricas, edad y hábitos similares a los del grupo de estudio.

Todos los sujetos fueron sometidos a un examen físico y respondieron a un cuestionario sobre sus antecedentes persona-

les, consumo de tabaco y actividad profesional; respecto a esta última, se especificaba los años de buceo con oxígeno, periodicidad y duración de las inmersiones (duración media, máxima y mínima), horas anuales acumuladas y equipos utilizados. También respondieron sobre la presentación de síntomas de toxicidad pulmonar aguda, indicando en caso afirmativo las características de la inmersión (mezcla respirable, profundidad, duración y trabajo físico).

Las espirometrías fueron realizadas con el Espirómetro Micro S-200 dotado de neumotacógrafo y monitor para la visualización de las curvas flujo-volumen en tiempo real. Se emplearon boquillas y filtros desechables. Antes de cada serie de exploraciones se procedía al calibrado del aparato y a la introducción de los datos referentes a temperatura, humedad relativa y presión atmosférica existente.

Todos los individuos fueron informados de los objetivos del estudio explicándoles previamente el procedimiento a seguir para la realización de las espirometrías forzadas según la normativa de la S.E.P.A.R.<sup>6</sup> A cada individuo se le practicaba un mínimo de tres pruebas, escogiendo para su valoración la más favorable.

Las variables estudiadas han sido: Capacidad Vital Forzada (FVC), Volumen espirado en el primer segundo (FEV<sub>1</sub>), Índice de Tiffeneau, Flujo máximo espiratorio (PEF), Flujo espirado entre el 25 y el 75% de la FVC (MEF<sub>25-75%</sub>), Capacidad Vital Inspiratoria (CVIN) y Flujo máximo inspiratorio (PIF). Todos los valores, excepto los inspiratorios fueron comparados, en forma porcentual, con los teóricos previstos según las ecuaciones de predicción de la C.E.C.A.<sup>7</sup>.

Se realiza el estudio estadístico descriptivo de posición (medias) y de dispersión (rango y desviación

típica). A todos los resultados les fue aplicado un análisis estadístico de homogeneidad de medias mediante el Test de la T de Student.

## RESULTADOS

La espirometría forzada se ha realizado a 33 sujetos varones cuyos datos antropométricos se exponen en la Tabla I.

En cuanto a las características de los buceadores reseñamos las siguientes: La edad media de inicio al submarinismo es de 20,27 ± 4,01 años y la del inicio al buceo con oxígeno de 22,33 ± 3,44 años. La media de horas anuales de buceo con oxígeno es de 82,38 ± 60,69, con un rango entre 20 y 240 horas, destacando que la tercera parte de ellos supera las 100 horas anuales.

Un tercio de los buceadores sobrepasa las mil horas totales acumuladas de inmersión con oxígeno, y otra tercera parte no llega a las 500 horas, siendo la media de 1016 horas.

La media de la duración máxima de las inmersiones realizadas es de 128 ± 59,8 minutos.

En ningún caso se registró sintomatología compatible con toxicidad pulmonar.

En la Tabla II se exponen los valores extremos (máximos y mínimos), medias y desviaciones típicas de cada una de las variables de la espirometría forzada, separados por grupos.

Con el análisis estadístico de homogeneidad de dos muestras mediante el uso de la t de Student no se ha observado diferencia significativa, con respecto a la talla y peso, entre los grupos de buceadores y el grupo control. Al analizar conjuntamente los grupos A y B encontramos diferencias significativas en los siguientes parámetros con respecto al grupo C: FVC, Índice de Tiffeneau, PEF y PIF. Tanto el PIF como

el Tiffeneau muestran unos valores medios inferiores en los individuos del grupo de buceadores (Tabla III).

Al comparar los resultados obtenidos en los buceadores activos (Grupo A) con los ex-buceadores (Grupo B) observamos diferencias significativas en todas las variables de la espirometría forzada (Tabla IV).

## DISCUSION

La espirometría forzada es una técnica aconsejada para la valoración de la función pulmonar en los exámenes de aptitud para la práctica del buceo, tanto profesional como deportivo<sup>8, 9, 10</sup>. Con ella se puede cuantificar la capacidad ventilatoria de los sujetos a estudio, sabiendo que está en función de la relación entre el volumen pulmonar, la resistencia de la vía aérea, la elasticidad del pulmón y de la caja torácica y la fuerza de los músculos respiratorios<sup>11</sup>.

A los sujetos de nuestro estudio los hemos dividido en dos grupos: buceadores en activo y buceadores retirados. A los primeros los podemos considerar, por el nivel de entrenamiento y actividad física que realizan, como deportistas de nivel; y al igual que sucede en otras actividades deportivas, observamos que presentan unos valores en sus parámetros espirométricos superiores a los considerados como normales según los valores de referencia obtenidos por las ecuaciones de predicción habitualmente usadas<sup>7, 12</sup>.

Se ha comprobado que la práctica de ejercicios en el agua tanto de una forma deportiva (natación o buceo) como rehabilitadora, condiciona el aumento de la Capacidad Pulmonar Total, Capacidad Vital Forzada y del FEV1<sup>13</sup>. Este aumento en la respuesta ventilatoria también se observa en otros tipos de actividad física como el remo<sup>14</sup> o el ciclismo<sup>15</sup>, y

		MAXIMO	MINIMO	MEDIA	DES. TIP.
<b>FVC</b>	(A)	7.23	4.64	5.89	0.75
	(B)	5.09	4.14	4.73	0.30
	Litros (C)	6.43	3.20	4.48	1.07
<b>FVC %</b>	(A)	139	102	119.77	11.48
	(B)	111	91	104.44	7.65
	% (C)	124	64	92	20.98
<b>FEV1</b>	(A)	6.69	4.46	5.30	0.78
	(B)	4.67	3.56	4.13	0.34
	Litros (C)	6.43	3.12	4.41	1.04
<b>FEV1 %</b>	(A)	151	118	132.88	12.10
	(B)	129	100	112.00	9.91
	% (C)	152	78	110.47	24.66
<b>TIFFEN</b>	(A)	97	83	92.22	4.02
	(B)	92	75	86.77	5.91
	% (C)	100	90	98.20	2.78
<b>CV IN</b>	(A)	7.23	5.31	6.20	0.55
	(B)	5.68	4.76	5.19	0.31
	Litros (C)	7.73	3.60	5.45	1.25
<b>PEF</b>	(A)	13.66	10.40	12.56	1.35
	(B)	12.92	6.03	9.97	2.17
	l/seg (C)	12.47	4.91	6.54	1.85
<b>PEF %</b>	(A)	154	114	136	12.88
	(B)	142	70	113.88	23.85
	% (C)	130	53	71.27	19.20
<b>MEF<sub>25-75%</sub></b>	(A)	12.40	6.97	9.53	1.70
	(B)	7.48	3.30	5.76	1.48
	l/Seg (C)	13.39	4.70	6.93	2.19
<b>MEF<sub>25-75%</sub> %</b>	(A)	233	144	184.22	29.76
	(B)	181	74	135.44	34.17
	% (C)	276	100	153.27	46.30
<b>PIF</b>	(A)	12.27	5.80	8.85	1.96
	(B)	8.98	4.51	7.12	1.23
	l/Seg (C)	13.70	8.06	10.05	1.67

A = Buceadores en activo; B = Exbuceadores; C = Controles

TABLA II: VARIABLES DE LA ESPIROMETRIA FORZADA SEGUN GRUPOS

en sujetos que practican deportes de equipo con más de 7 horas semanales de actividad deportiva<sup>16</sup>.

La diferencia que observamos, en estas variables, entre los buceadores activos y los retirados se podría atribuir, si sólo nos basamos en los valores reales expresados en litros, a la diferencia de edad existente entre ambos grupos; pero al observar que también existe una diferencia significativa entre ellos al expresarlos en porcentajes del valor previsto para su edad, estatura y peso, podemos considerar que el tipo de actividad realizada también condiciona los valores más altos en los activos; datos similares se han obtenido en otros grupos de sujetos al compa-

rar los activos con los sedentarios<sup>17</sup>.

Los flujos espiratorios (PEF y MEF<sub>25-75%</sub>) muestran diferencias significativas entre los grupos A y B, siendo éstas más acusadas en el MEF<sub>25-75%</sub>; los sujetos controles obtuvieron unos valores intermedios entre ambos, tanto expresados en litros como en porcentajes con respecto al teórico, por lo que estas variaciones tampoco pueden atribuirse únicamente a la diferencia de edad.

En cuanto a las variables inspiratorias (CVIN y PIF), observamos que existe una diferencia significativa entre ambos grupos de buceadores (A y B), y de ellos con respecto a los controles (C), pero debido a lo amplio de sus

rangos y al pequeño número de casos, no podemos atribuir estas variaciones a la actividad realizada; aunque, siguiendo a Bab y Rodarte<sup>15</sup> pensamos que los aumentos de la Capacidad Inspiratoria se pueden deber a cambios en el Volumen Residual.

Al observar que en determinados parámetros (FEV1, MEF<sub>25-75%</sub> y PIF) los exbuceadores tienen valores inferiores a los del grupo control, pensamos que podría deberse a un efecto de la exposición intermitente al oxígeno hiperbárico que causase un empeoramiento crónico de la función ventilatoria afectando a las pequeñas vías aéreas, detectándose esta alteración al cesar la actividad física que acompaña a la práctica del buceo.

Moselhi y colaboradores<sup>18</sup> no encontraron diferencias significativas al realizar un estudio similar en profesionales con 2-10 años de buceo con oxígeno (entre 250 y 1.250 horas acumuladas) posiblemente debido al bajo número de horas totales acumuladas con respecto a nuestro trabajo (entre 540 y 5.040 horas); aunque citan a autores que refieren experiencias en las que concluyen que la toxicidad del oxígeno ocasiona un aumento de las resistencias elásticas durante la respiración. Puy y col<sup>19</sup> opinan que el desarrollo de las lesiones hiperóxicas es progresivo y puede condicionar daño irreversible en la función respiratoria. Nuestros propios resultados suscriben esta opinión.

Widell y col<sup>2</sup> encuentra descenso en la capacidad vital y el FEV1 tras exposiciones intermitentes con oxígeno y señalan una mayor afectación del segundo parámetro. Las experiencias de Crosbie y Cummings<sup>5</sup> indican que FVC y FEV1 son las variables más alteradas por la hiperoxia: estos autores estudian dos casos de intoxicación pulmonar y realizan espirometrías periódicas a los accidentados observando que las citadas variables comienzan a

	A+B / C	A / C	B / C
FVC	P < 0.05	P < 0.01	N.S.
FVC %	P < 0.01	P < 0.01	N.S.
FEV1	N.S.	N.S.	N.S.
FEV1 %	N.S.	P < 0.05	N.S.
TIFFENEAU	P < 0.01	P < 0.01	P < 0.01
CVIN	N.S.	N.S.	N.S.
PEF	P < 0.01	P < 0.01	P < 0.01
PEF %	P < 0.01	P > 0.01	P < 0.01
MEF <sub>25-75%</sub>	N.S.	N.S.	N.S.
MEF <sub>25-75%</sub> %	N.S.	N.S.	N.S.
PIF	P < 0.01	N.S.	P < 0.01

N.S. = Diferencia no significativa

**TABLA III: DIFERENCIAS DE LAS MEDIAS (HOMOGENEIDAD DE MUESTRAS) DE LAS VARIABLES DE LA ESPIROMETRIA FORZADA ENTRE LOS DISTINTOS GRUPOS. \*\***

revertir a las cinco semanas y que transcurridas doce semanas no se obtiene aún una normalización completa de ambos parámetros, lo que permite deducir la persistencia del daño pulmonar. Si bien en nuestro estudio no registramos ningún accidente hiperóxico si observamos que tanto FVC como FEV1 se encuentran modificadas.

Por otro lado, Clark y colaboradores<sup>20</sup> realizan recientemente un estudio de función pulmonar en individuos que respiran oxígeno a 3 ATA durante 3.5 horas y a pesar de no presentar síntomas respiratorios relevantes, señalan

reducciones de FEV1 y FEV<sub>25-75%</sub> del 5 y 11.8% respectivamente mientras que FVC permanecía sin cambios; estas modificaciones se produjeron de manera similar en los sujetos que convulsionaron. Ello permitiría afirmar que, si bien el FEV1 queda modificado tras exposiciones hiperóxicas inmediatas y a largo plazo, la utilidad indicativa de FVC no sería tan valorable ya que su afectación parece menos constante. En cualquier caso somos contrarios a la teoría que sostienen Harabin y Homer<sup>21</sup> quienes atribuyen las modificaciones de capacidad pulmonar espirométri-

	BUCEADORES ACTIVOS	EX-BUCEADORES	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA
FVC (litros)	5.89 ± 0.75	4.73 ± 0.30	p < 0.01
FVC % teórico	119.77 ± 11.48	104.44 ± 15.28	p < 0.01
FEV1 (litros)	5.30 ± 0.78	4.13 ± 0.34	p < 0.01
FEV1 % teórico	132.88 ± 12.10	112.0 ± 9.91	p < 0.01
TIFFENEAU	92.22 ± 4.02	86.77 ± 5.91	p < 0.05
CVIN	6.20 ± 0.55	5.19 ± 0.31	p < 0.01
PEF (l/seg)	12.56 ± 1.35	9.97 ± 2.17	p < 0.05
PEF % teórico	136.00 ± 12.88	113.88 ± 23.85	p < 0.05
MEF	9.53 ± 1.70	5.76 ± 1.48	p < 0.01
MEF % teórico	184.22 ± 29.56	135.44 ± 34.17	p < 0.01
PIF	8.85 ± 1.96	7.12 ± 1.23	p < 0.05

**TABLA IV: MEDIDAS Y DESVIACIONES TÍPICAS DE BUCEADORES ACTIVOS/EXBUCEADORES**

cas y afirman, al igual que Gar-dette y Lemaire<sup>22</sup>, que el amplio

rango de variaciones individua-les de este parámetro impide valorarlo de forma estricta. De hecho, la reducción de capaci-dad pulmonar que hemos observado no puede atribuirse a los síntomas respiratorios, y en la experiencias de Clark<sup>20</sup> los registros espirométricos altera-

dos no coincidían con la sinto-mología de intoxicación. De cualquier forma, los buceadores estan habituados a las manio-bras de capacidad vital forza-da<sup>23</sup> por lo que estas variaciones deben ser adecuadamente rela-cionadas con las exposiciones hiperóxicas.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- MELIET, JL: L'hyperoxie. Medsubhyp. 1989. 8.1: 23-26.
- 2.- WIDELL, PJ; BENNET, PB; and KIBLIN, P: Pulmonary oxygen toxicity in man at 2 ATA with intermittent air breathing. Aersp Med. 1974. 45 (4): 407-410.
- 3.- BARTHEYLEMY, L: Toxicité pulmonaire de l'oxygène. Exposé introductif de physiologie respiratoire. IRMS. Marsella. 1982.
- 4.- LUCAS, MC; PUJANTE, AP; SANCHEZ GASCON, F y LUDEÑA, MD: Estudio de lesiones morfológicas inducidas por inhalación de oxígeno a altas concentraciones. Arch Bronc. 1992; 28, supl 1:9.
- 5.- CROSBIE, WA; CUMMING, G; THOMAS, IR: Acute oxygen toxicity in a saturation diver working in the North Sea. Undersea Biomed Res. 1982; 9 (4): 315-319.
- 6.- GRUPO DE TRABAJO DE LA SEPAR PARA LA PRACTICA DE LAS ESPIROMETRIA FORZADA: Normativa para la práctica de la espirometría forzada. Arch Bronc. 1989; 25 (4): 132-142
- 7.- EUROPEAN COMMUNITY FOR COAL AND STEEL. Ed. QUANJER, PH: Standarizad lung function testing. Report working party for standardization of lung function test of the E.C.C.S. Bull Europ Physiopat-hologi Respir. 1983; 19 (suppl 5).
- 8.- BALLAR MONTES, F: Exámen de aptitud para el buceo. En GALLAR MONTES, F: Medicina subacuá-tica e hiperbárica. Instituto Social de la Marina. Madrid, 1991.
- 10.- ROSSANT-LUMBROSO, J: Medicina del Deporte. Ed. Marfil Alcoy, 1984.
- 11.- ROCA TORRENT, J: Medición de la capacidad ven-tilatoria. Medicine. 1985; 4ª Serie. nº 26: 1109-1117.
- 12.- AMERICAN THORACIC SOCIETY: Lung function testing: Selection of reference values and interpre-tative strategies. Am Rev Respir Dis. 1991; 144: 1202-1218
- 13.- CLANTON, TL; DIXON, GF; DRAKE, J; and GADEK, JE: Effects of swim training on lung volu-mes and inspiratory muscle conditioning. J Appl Physiol. 1987; 62: 39-46.
- 14.- MAHLER, DA; SHUHART, CR; BREW, E; and STU-KEL, TA: Ventilatory responses and entrainment of breathing during rowing. Med Sci Sports Exerc. 1991; 23: 186-192.
- 15.- BABB, TG; and RODARTE, JR: Lung volumes during low-intensity steady-state cycling. J Appl Physiol. 1991; 70: 934-937.
- 16.- MARTINEZ GONZALEZ-MORO, I: Aportación de las pruebas de función pulmonar a la Medicina del Deporte. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. 1992.
- 17.- SEINIARSKI, R; ETERRADOSSI, J; and TAN-CHE, M: Mesure des paramètres ventilatoires statiques et dynamiques dans une population de sportifs des deux sexes âgés de 20 a 55 ans par spirométrie et courbes débits-volumes. Médecine du Sport. 1990; 64: 196-199
- 18.- MOSELHI, M; ABDALLAH, SM and AZAB, YM: Pul-monary function in men with intermittent long-term exposure to hyperbaric oxygen. Under-sea Biomedical Research. 1980; 7: 149-156.
- 19.- PUY, RJM; HYDE, RW; FISHER, AB; CLARK, JM: Alterations in the pulmonary capillary bed during early oxygen toxicity in men J Appl Physiol. 1968; 24: 537-543.
- 20.- CLARK, JM; JACKSON, RM; LAMBERTSEN, CJ: Pulmonary function in men after oxygen breathing at 3.0 ATA for 3.5 h. J Appl Physiol. 1991; 71 (3): 979-885.
- 21.- HARABIN, AI; HOMER, ID; WEATHERSBY, PK: An analysis of decrements in vital capacity as an index of pulmonary oxygen toxicity. J Appl Physiol. 1987; 63 (3): 1130-1135.
- 22.- GARDETE, B; LEMAIRE, C: Variations de la capa-cité vitale en fonction de la quantité d'oxygène inhalée au cours des décompressions. Mesubhyp. 1977; 61: 66-69.
- 23.- LEMAIRE, C: Détermination du taux d'hyperoxie acceptal pour les plogées au long cours par la mesura de la capacité vitale Bull Medsubhyp. 1975; 11: 82-85.

## BOLETIN DE SUSCRIPCION

Nombre y Apellidos: .....

Domicilio: Calle o Plaza: ..... Ciudad: .....

Código Postal: ..... Provincia: ..... Teléfono: .....

PAGO POR (señale la forma de pago elegida con una X)

Banco o Caja de Ahorros: .....

c/c o libeta n.º ..... Agencia: ..... Dirección: .....

..... Provincia: .....

Giro postal n.º ..... remitido con fecha: ..... a

Caja de Ahorros y Monte de Piedad de Madrid  
Sucursal 1827 "Medicina Militar" c/c 600-10318-31  
Calle de Cea Bermúdez, 56. 28003 MADRID

Firmado

## IMPRESO PARA REMITIR AL BANCO O CAJA DE AHORROS

Sr. Director de .....

Sucursal o Agencia de .....

Ruego abone a "Medicina Militar", Revista de Sanidad de las F.A.S. de España, el recibo anual importe de mi suscripción a dicha revista y con cargo a mi c/c o libreta n.º .....

Queda de Vd. s. affmo.,

Fdo.: .....

Dirección .....

