



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2008;1(3):102-7

www.elsevier.es/ramd



Original

Modificaciones espirométricas en una población que se inicia en el buceo con aire comprimido

A. Olea González^a, S. Balanza Galindo^b y M. J. Alcaraz García^c

^aComandante Médico Especialista en Medicina Subacuática e Hiperbárica. Centro de Buceo de la Armada. Cartagena (Murcia). España.

^bEspecialista en Medicina del Trabajo. Sanidad Marítima. Instituto Social de la Marina. Cartagena (Murcia). España.

^cBióloga. Centro de Buceo de la Armada. Universidad de Murcia. Murcia. España.

Historia del artículo:

Recibido el 4 de septiembre de 2008

Aceptado el 8 de octubre de 2008

Palabras clave:

Buceo.

Aire comprimido.

Espirometría.

Función pulmonar.

RESUMEN

Objetivo. Observar las modificaciones espirométricas en una población que se somete por primera vez y de forma continuada al medio hiperbárico empleando aire comprimido.

Métodos. Noventa y dos militares, varones, sanos, que realizan un curso de buceo a 50 metros de profundidad con aire comprimido y de 8 semanas de duración. Los parámetros espirométricos estudiados fueron: capacidad vital forzada (FVC), volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1), FEV1/FVC, flujo espiratorio forzado entre el 25 y el 75% de la espiración (FEF 25-75%) y flujo espiratorio forzado entre el 75 y el 85% de la espiración (FEF 75-85%). Utilizamos un espirómetro portátil Vitalograph COMPACT. Se realiza espirometría el primer día de curso y de forma semanal a todos los sujetos.

Resultados. Mientras que la evolución de la FVC no mostró diferencias significativas ($110,48 \pm 12,13$ frente a $110,35 \pm 13,15$; $p = 0,12$), los parámetros de flujos mostraron diferencias significativas entre la primera y la última determinación: FEV1 ($102,72 \pm 12,91$ frente a $96,73 \pm 15,83$; $p < 0,001$), FEV1/FVC ($78,75 \pm 7,73$ frente a $74,25 \pm 9,91$; $p < 0,001$), FEF 25-75% ($95,83 \pm 22,36$ frente a $84,33 \pm 18,94$; $p < 0,001$) y FEF 75-85% ($105,08 \pm 35,86$ frente a $86,27 \pm 29,44$; $p < 0,001$).

Conclusiones. Se observa una evolución descendente de los parámetros de flujo, que no están vinculados ni a la profundidad ni al tiempo de exposición al ambiente hiperbárico. Entre los factores que pueden explicar esta evolución destacan las características mecánicas del equipo y las características físicas de la mezcla gaseosa.

© 2008 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

ABSTRACT

Spirometric modifications in a population that initiates scuba diving with compressed air

Objective. This study aimed to observe spirometric modifications in a population of scuba diving student who initiated it for the first time and continuously in the hyperbaric setting with compressed air.

Methods. Ninety-two healthy, male, military subjects who were taking an 8-week scuba diving course at 50 meters deep with compressed air were studied. We measured forced vital capacity (FVC), forced expired volume in the 1st second (FEV1), FEV1/FVC, and forced expiratory flow at 25-75% and 75-85% of FVC (FEF 25-75%, FEF 75-85%). Lung function was measured with portable spirometry Vitalograph COMPACT. A pulmonary function test was performed in all subjects on the first day of the course and weekly.

Results. No differences were found in FVC values during the time of the diving course. There were significant differences in the decline of FEV1 (102.72 ± 12.91 and 96.73 ± 15.83 ; $p < 0.001$), FEV1/FVC (78.75 ± 7.73 and 74.25 ± 9.91 ; $p < 0.001$), FEF 25-75% (95.83 ± 22.36 and 84.33 ± 18.94 ; $p < 0.001$) and FEF 75-85% (105.08 ± 35.86 and 86.27 ± 29.44 ; $p < 0.001$).

Conclusions. A decreasing evolution of flow parameters, that was not linked to either depth or time of exposure to the hyperbaric setting, was observed. Combined effects of diving equipment and breathing compressed air could contribute to the fall of flow parameters.

© 2008 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

Key words:

Scuba diving.

Compressed air.

Spirometry.

Pulmonary function.

Correspondencia:

A. Olea González.

Centro de Buceo de la Armada.

Estación Naval de la Algameca.

30290 Cartagena Naval. Cartagena. España.

Correo electrónico:

aoleag@fn.mde.es

Introducción

El empleo continuado de las pruebas espirométricas en buceadores ha puesto de manifiesto la existencia de efectos pulmonares crónicos caracterizados por un incremento de la capacidad pulmonar total, descenso de volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1)/capacidad vital forzada (FVC) y de parámetros medioespiratorios¹⁻⁵.

Entre los factores responsables de estas afectaciones espirométricas destacan tanto factores inherentes al uso de los equipos de buceo, como factores medioambientales.

Entre los factores relacionados con los equipos de buceo destacamos:

1) La respiración de oxígeno a presiones elevadas, entre 0,4 y 1,7 ata, puede ocasionar alteraciones espirométricas caracterizadas por el descenso de parámetros de capacidad y de flujo⁶⁻⁸.

2) Eliminación pulmonar de las microburbujas de nitrógeno. Estas burbujas se producen en toda inmersión y son eliminadas por vía respiratoria sin causar alteraciones clínicas evidentes⁹⁻¹¹. Sin embargo, en ocasiones puede producirse una situación de insuficiencia respiratoria restrictiva¹² o incluso afectaciones del parénquima pulmonar caracterizadas por: lesiones vasculares, procesos de broncoconstricción y edemas perivasculares y peribronquiales¹³.

3) Características físicas del aire comprimido. Entre ellas destacamos su sequedad, para evitar los procesos de corrosión de las botellas y las altas presiones de almacenaje, llegando en ocasiones hasta los 200 kg/cm². Estas características, asociadas a la anulación de la vía nasal durante el buceo y por tanto a los procesos de humidificación y calentamiento del aire respirado, exponen al buceador a situaciones de limitación de flujos aéreos¹⁴⁻¹⁷.

4) Características mecánicas del equipo de buceo. Los elementos con más implicación pulmonar son el traje de neopreno y el regulador de boca. El traje de neopreno, debido a su reducida distensibilidad y a su fijación sobre el cuerpo del buceador, va a ocasionar un aumento del trabajo respiratorio y una reducción en los procesos de ventilación¹⁸⁻²⁰. El regulador es el elemento que más limitaciones impone al sistema respiratorio ya que debido a su sistema valvular y de conexiones incrementa el espacio muerto, el trabajo respiratorio y la resistencia respiratoria externa^{21,22}. Además, en la fase espiratoria del regulador se encuentra la válvula de exhaustación, en contacto directo con el medio acuático y con la presión medioambiental, y que obliga al buceador a vencer esta pre-

sión externa para exhalar el aire. La acción conjunta de estos factores modifica el patrón respiratorio de tal forma que la espiración pasará a ser un proceso activo^{23,24}.

Entre los factores medioambientales que afectan al buceador destacamos: la presión, la densidad y la temperatura. La presión y la densidad están directamente relacionadas, de tal forma que el aumento de la primera supone un incremento de la segunda; las consecuencias respiratorias del aumento de densidad de la mezcla gaseosa se manifiestan sobre la mecánica respiratoria, produciendo un aumento de la resistencia respiratoria²⁵, y sobre la musculatura respiratoria²⁶. La alta conductividad térmica del agua, asociada a las características físicas de la mezcla gaseosa, incrementan la resistencia de la vía aérea y el trabajo respiratorio²⁷.

El objetivo del presente estudio ha sido valorar, en una población que se somete por primera vez al medio subacuático empleando equipos de buceo con aire comprimido, las modificaciones espirométricas determinando la influencia de factores específicos de los equipos de buceo, medioambientales o individuales.

Métodos

El estudio se realizó en el Centro de Buceo de la Armada (Cartagena), lugar de formación militar en actividades subacuáticas, donde se lleva a cabo el curso de buceador de aire comprimido hasta 50 metros con equipo de buceo autónomo y con una duración de 8 semanas. Los buceadores realizan una inmersión diaria, sin descompresión programada, de tal forma que en función de la profundidad se determina el tiempo máximo en el fondo sin necesidad de realizar descompresión, según el programa del curso recogido en la tabla 1. Todos los sujetos que participaron en el estudio lo hicieron de forma voluntaria.

La muestra estuvo compuesta por 92 militares profesionales, varones, sanos, sin contacto previo con equipos de buceo. Las características básicas de la muestra se presentan en la tabla 2. Es de destacar que la actividad física más extendida fue la carrera continua (88%), mientras que el 12% restante practicaba actividades anaerobias.

El equipo de buceo empleado, similar para todos los sujetos, está compuesto por: traje de neopreno de 3 mm de espesor y un equipo respiratorio constituido por botellas de aluminio de 15 litros de capacidad y un regulador convencional. Es un equipo de circuito abierto donde el

Tabla 1
Actividades físicas terrestres y subacuáticas del curso de buceo

Semana del curso	Actividad física terrestre	Actividad subacuática
Primera semana	1 hora diaria de ejercicios aeróbicos + 1 hora semanal de natación	Fase en piscina: 5 inmersiones, máxima profundidad 2 metros, tiempo máximo 2 horas
Segunda semana	1 hora diaria de ejercicios aeróbicos + 1 hora semanal de natación	Inmersión en mar abierto: 5 inmersiones semanales, máxima profundidad 10 metros, tiempo máximo 1 hora
Tercera semana	1 hora diaria de ejercicios aeróbicos + 1 hora semanal de natación	Inmersión en mar abierto: 5 inmersiones semanales, máxima profundidad 15 metros, tiempo máximo 1 hora
Cuarta semana	1 hora diaria de ejercicios aeróbicos + 1 hora semanal de natación	Inmersión en mar abierto: 5 inmersiones semanales, máxima profundidad 30 metros, tiempo máximo 30 minutos
Quinta semana	1 hora diaria de ejercicios aeróbicos + 1 hora semanal de natación	Inmersión en mar abierto: inmersiones a 40 metros, tiempo máximo 5 minutos; inmersión a 50 metros, tiempo máximo 5 minutos
Sexta semana	1 hora diaria de ejercicios aeróbicos + 1 hora semanal de natación	Adiestramiento fuera de las instalaciones del centro: 10 inmersiones entre 5 y 10 metros, tiempo máximo 30 minutos
Séptima semana	1 hora diaria de ejercicios aeróbicos + 1 hora semanal de natación	Inmersiones a media profundidad (15-25 metros): 5 inmersiones, tiempo máximo 60 minutos
Octava semana	1 hora diaria de ejercicios aeróbicos + 1 hora semanal de natación	Inmersiones a media profundidad (15-25 metros): 5 inmersiones, tiempo máximo 60 minutos

Tabla 2
Características de la muestra

Variable independiente (media y DE)	Grupo	Intervalo	Número de sujetos (%)
Edad (26,26 ± 3,5 años)	1	≥ 20 y ≤ 24	35 (38)
	2	> 24 y ≤ 28	31 (38,7)
	3	> 28 y ≤ 33	26 (28,3)
IMC (24,21 ± 2,10)	1	≤ 23	30 (32,6)
	2	> 23 y ≤ 25	31 (33,69)
	3	> 25 y < 27	31 (33,69)
Horas deporte/semana	1	< 5	17 (18,47)
	2	5-10	59 (64,13)
	3	> 10	16 (17,39)
Número cigarrillos/día	1	No fumadores	55 (59,78)
	2	< 10	14 (15,21)
	3	10-20	23 (25)
Años fumando	1	No fumador	55 (59,78)
	2	< 5	17 (18,47)
	3	≥ 5 y < 10	20 (21,73)

DE: desviación estándar; IMC: índice de masa corporal.



Fig. 1. Buceador en la piscina de ejercicios.

aire espirado se expulsa al exterior, y a demanda, solo suministra aire durante la inspiración (fig. 1).

Para los estudios espirométricos empleamos un espirómetro portátil (Vitalograph COMPACT, Cat. n.º 42.000; Vitalograph, Vitalograph Ltd, England). Los parámetros empleados fueron FVC, FEV1, FEV1/FVC, flujo espiratorio pico (PEF), flujo espiratorio forzado entre el 25 y el 75% de la espiración (FEF 25-75%) y flujo espiratorio forzado entre el 75 y el 85% de la espiración (FEF 75-85%); las espirometrías se realizaron por el mismo examinador y según las normas de la SEPAR, empleando los valores de

referencia establecidos por la ECCS²⁸. Los resultados se expresaron como porcentaje de los valores teóricos de referencia.

Procedimientos

De forma previa al inicio del curso, y antes de cualquier contacto con el medio subacuático, los alumnos realizaban una encuesta de salud y un estudio espirométrico. En la encuesta de salud se recogían datos antropométricos (edad e índice de masa corporal [IMC]), nivel de actividad física y hábito tabáquico. El análisis de estos datos nos permitió clasificar a la muestra en distintos grupos.

Las pruebas espirométricas se realizaron del siguiente modo: el primer día a todos los sujetos, de forma que cada sujeto actuó como control de sí mismo. A continuación se realizaron espirometrías semanales, para ello a cada sujeto se le asignaba un día de la semana, donde a primera hora de la mañana, y antes de las actividades físicas y acuáticas, debía repetir la espirometría, de manera que de cada alumno se obtenían un total de 7 determinaciones. Durante la sexta semana no se realizó determinación debido a que los alumnos del curso se desplazaban fuera de las instalaciones del centro para completar su formación. De forma previa a los estudios espirométricos semanales los alumnos informaban sobre la presencia de sintomatología pulmonar experimentada durante la semana previa.

Análisis estadístico

Los resultados descriptivos de las variables cualitativas empleadas se han presentado con medidas de frecuencia, mientras que las variables cuantitativas, una vez comprobados sus criterios de normalidad estadística mediante la prueba de Kolmogorov Smirnov, se expresaron mediante los valores de media aritmética y desviación estándar, incluyendo en los parámetros obtenidos de las medidas de las variables dependientes el intervalo de confianza al 95%.

Para el contraste de hipótesis de muestras independientes se han utilizado las pruebas paramétricas de la t de Student y el análisis de la varianza para un factor. Para el análisis de la evolución de los valores de cada uno de los parámetros medidos de forma repetida en cada sujeto, se ha utilizado el análisis de la varianza para medidas repetidas con dos factores, un factor intra-sujeto, conteniendo cada uno de ellos los 7 niveles de medida repetidos, y un segundo factor inter-sujeto, compuesto por las variables independientes, todas ellas categorizadas, que definen los factores individuales.

El análisis estadístico ha sido realizado utilizando el programa estadístico SPSS 11.5, para Windows, estableciendo el nivel de significación estadística para $p < 0,05\%$.

Resultados

En la primera espirometría se observa una normalidad de los parámetros espirométricos, tal y como se recoge en la tabla 3. Al estudiar los efectos de los factores individuales, categorizados por grupos, sobre la espirometría inicial se observa que cuanto mayor es el IMC, los valores de FEF 75-85% son inferiores, siendo estas diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,01$) (tabla 4). El resto de los factores individuales no presentaron una influencia significativa sobre los parámetros espirométricos iniciales.

En relación con la evolución semanal: se observa una evolución descendente de los parámetros de flujo FEV1, FEV1/FVC, FEF 25-75% y FEF

Tabla 3
Resultados de la primera determinación espirométrica

Parámetro	Media $\pm$ DE	Intervalo de confianza al 95%	
		Límite inferior	Límite superior
FVC	110,48 $\pm$ 12,13	107,97	112,99
FEV1	102,72 $\pm$ 12,91	100,04	105,39
FEV1/FVC	78,75 $\pm$ 7,73	77,15	80,35
PEF	102,36 $\pm$ 22,65	97,67	107,05
FEF 25-75%	95,82 $\pm$ 22,36	91,19	100,46
FEF 75-85%	105,08 $\pm$ 35,86	97,65	112,5

DE: desviación estándar; FEF 25-75%: flujo espiratorio forzado entre el 25 y el 75% de la espiración; FEF 75-85%: flujo espiratorio forzado entre el 75 y el 85% de la espiración; FEV1: volumen espiratorio forzado en el primer segundo; FVC: capacidad vital forzada; PEF: flujo espiratorio pico.

Tabla 4
Variación del parámetro FEF 75-85% por grupos de masa corporal

FEF 75-85%	Grupo 1 Media $\pm$ DE	Grupo 2 Media $\pm$ DE	Grupo 3 Media $\pm$ DE	F	P
Primera determinación	120,2 $\pm$ 42,32	101,68 $\pm$ 30,28	93,84 $\pm$ 29,68	4,67	0,01

DE: desviación estándar; FEF 75-85%: flujo espiratorio forzado entre el 75 y el 85% de la espiración.

75-85%, que estuvo acompañada de una alta significación estadística ($p < 0,001$) (tabla 5). Además se ha observado la ausencia de influencia de los factores individuales en la evolución de los parámetros espirométricos.

Discusión

Los estudios espirométricos realizados en una población que se somete por primera vez, y de forma continuada, al medio hiperbárico usando equipos de buceo con aire comprimido revelan, desde la primera exposición y de forma continuada, un descenso de los parámetros de flujo.

Para determinar en qué momento de la exposición se presentaba la mayor afectación espirométrica realizamos una recogida semanal de muestras, ya que en los distintos estudios consultados^{5,29,30} estos controles se llevaron a cabo de forma más espaciada en el tiempo: con medidas al inicio de la actividad, a la mitad de la misma y a la finalización de la exposición; además, las muestras empleadas estaban compuestas tanto por no buceadores como por buceadores con distinto grado de experiencia en el empleo de estos equipos. En nuestro estudio, aplicamos un modelo longitudinal, con controles semanales, estando la muestra compuesta de forma íntegra por sujetos sin antecedentes previos de uso de equipos de buceo con aire comprimido. Las medidas se realizaron por el mismo explorador, a la misma hora de la mañana y antes de cualquier

actividad física terrestre, ya que la liberación de catecolaminas favorece el efecto broncodilatador pudiendo aumentar los parámetros medidos³¹, o acuática, ya que las mediciones realizadas de forma inmediata tras el buceo pueden estar influidas por los efectos residuales de la redistribución sanguínea torácica ocasionada por el aumento de presión medioambiental^{32,33}. Es de destacar, tras los distintos controles semanales, que la evolución espirométrica no se acompañó de manifestaciones clínicas de tipo pulmonar, circunstancia que coincide con lo observado por otros autores^{5,30,34}.

Un aspecto poco recogido en la literatura consultada es el efecto de los factores individuales en los procesos de adaptación pulmonar al buceo. Así, respecto a la edad, no se aprecian diferencias significativas en función de los tres grupos establecidos, ya sea en la espirometría inicial o en las determinaciones periódicas. Por tanto, podemos establecer que no es este el rango de edad (20-33 años) en el que pueden verse afectados los parámetros espirométricos de forma previa al buceo, ni el rango en el que la edad tiene influencia sobre la evolución espirométrica durante la práctica del buceo.

En relación con el IMC, no parece que este factor presente ninguna influencia sobre la actividad pulmonar durante la práctica del buceo ni como factor predisponente a presentar mayor número de patologías derivadas de su ejercicio^{35,36}, aunque clásicamente se considera que un exceso de grasa corporal es un factor de riesgo para presentar patología descompresiva debido a la alta solubilidad del nitrógeno en el tejido graso. Sin embargo, sí observamos la existencia de una relación inversamente proporcional entre valores de IMC y valores de FEF 75-85%, lo que puede ser atribuido a un incremento de la masa muscular pulmonar o a un exceso de la grasa corporal³⁷. Sin embargo, pese a presentar valores inferiores a los de los otros grupos de menor IMC, estos estuvieron dentro de la normalidad.

Ninguna de las variables espirométricas estudiadas está influenciada de forma estadísticamente significativa por el consumo de tabaco. Estos resultados coinciden con lo establecido por diversos autores consultados^{30,32,38}, que apuntan un comportamiento espirométrico similar entre fumadores y no fumadores, observándose estas similitudes tras inmersiones con aire comprimido, tras largas estancias en ambiente hiperbárico, como el buceo en saturación, o tras largo plazo de actividad profesional. Fitzpatrick y Conkin⁶ observan que el buceo afecta de forma positiva a los fumadores, de tal forma que al menos durante el primer año de actividad profesional existe una relación positiva entre paquete/día y evolución de FVC. Entre los factores que podemos argumentar para la ausencia de esta influencia podemos destacar: la baja edad media de la población, el poco tiempo de actividad fumadora y la importante actividad física, tanto terrestre como acuática, realizada durante el curso.

Los sujetos con mayor nivel de actividad física presentaron valores espirométricos superiores a aquellos con menor nivel de actividad física,

Tabla 5
Análisis de la varianza para medidas repetidas

Parámetro	Determinaciones							P
	1.ª medida	2.ª medida	3.ª medida	4.ª medida	5.ª medida	6.ª medida	7.ª medida	
FVC	110,48 $\pm$ 12,13	110,3 $\pm$ 12,43	110,29 $\pm$ 12,1	110,05 $\pm$ 12,47	109,62 $\pm$ 13,54	108,91 $\pm$ 14,51	110,35 $\pm$ 13,15	0,12
FEV1	102,72 $\pm$ 12,91	99,08 $\pm$ 13,13	98,7 $\pm$ 12,54	97,16 $\pm$ 14,05	96,35 $\pm$ 15,68	97,09 $\pm$ 15,14	96,73 $\pm$ 15,83	< 0,001
FEV1/FVC	78,75 $\pm$ 7,73	76,29 $\pm$ 8,1	75,99 $\pm$ 7,41	74,74 $\pm$ 8,02	74,45 $\pm$ 9,19	75,57 $\pm$ 8,43	74,25 $\pm$ 9,91	< 0,001
PEF	102,36 $\pm$ 22,65	99,78 $\pm$ 24	100,77 $\pm$ 22,08	98,6 $\pm$ 22,53	98,5 $\pm$ 23,09	98,15 $\pm$ 22,31	98,93 $\pm$ 23,3	0,2
FEF 25-75%	95,83 $\pm$ 22,36	88,43 $\pm$ 19,65	86,88 $\pm$ 18,6	85,71 $\pm$ 19,83	85,59 $\pm$ 19,27	84,51 $\pm$ 19,27	84,33 $\pm$ 18,94	< 0,001
FEF 75-85%	105,08 $\pm$ 35,86	94,42 $\pm$ 32,19	89,65 $\pm$ 27,95	87,82 $\pm$ 30,52	87,35 $\pm$ 29,95	86,13 $\pm$ 29,92	86,27 $\pm$ 29,44	< 0,001

FEF 25-75%: flujo espiratorio forzado entre el 25 y el 75% de la espiración; FEF 75-85%: flujo espiratorio forzado entre el 75 y el 85% de la espiración; FEV1: volumen espiratorio forzado en el primer segundo; FVC: capacidad vital forzada; PEF: flujo espiratorio pico.

diferencias que se mantuvieron a lo largo del curso y a la finalización del mismo, careciendo de significación estadística.

La ausencia de influencia de los factores individuales en las modificaciones espirométricas puede ser debida a la existencia de una muestra muy homogénea tanto en edad como en factores físicos y de salud. Por tanto, podemos suponer que con el empleo de muestras más heterogéneas (mayor rango de edad, mayor nivel de consumo de tabaco, menor nivel de actividad física, o incluso distinto sexo) los resultados podrían ser distintos y quizá más limitantes para la práctica del buceo.

En relación con los factores inherentes al medio acuático, son conocidos los efectos negativos del oxígeno sobre la función pulmonar, sin embargo, en nuestro programa de formación la máxima profundidad de 50 metros, equivalente a una presión parcial de oxígeno de 1,26 ata, solo se alcanza una vez durante el desarrollo del curso, siendo la estancia inferior a 5 minutos. Desde el punto de vista clínico ningún alumno manifestó la presencia de sintomatología pulmonar tras esta inmersión, y desde el punto de vista espirométrico el único parámetro que experimentó descenso, de escaso valor y sin significado estadístico, fue FEV1. Estos hallazgos coinciden con lo establecido por otros autores^{38,39}, que consideran que las inmersiones ocasionales a esta profundidad y de escasa duración no presentan efectos tóxicos pulmonares debidos al oxígeno. Sin embargo, Tetzlaff et al⁴⁰ consideran que el ejercicio continuado de estas inmersiones, ya sea profesional o deportivo, puede contribuir a una afectación crónica de las vías aéreas.

En ocasiones la eliminación pulmonar de las burbujas de nitrógeno generada en toda inmersión puede presentar efectos negativos pulmonares, sin embargo diversos autores establecen^{16,33,41} que en las inmersiones con aire comprimido a poca profundidad, de duración limitada y respetando las normas de seguridad (velocidad de ascenso a superficie no superior a 9 m/min y paradas de descompresión adecuadas) no se aprecia la existencia de microburbujas y que por tanto no se produce afectación pulmonar. Sin embargo Lemaitre et al⁴² establecen que la repetición de estas inmersiones y con largas estancias, sometidos a situaciones de aumento de presión, trae consigo una mayor producción de microburbujas, lo que puede acarrear la aparición de efectos pulmonares a largo plazo.

Si bien los factores anteriormente citados no están presentes durante todo el desarrollo del curso, debemos observar que los mayores descensos se producen durante la fase de piscina, y que en las siguientes semanas los descensos son mantenidos. Existen otros factores que son constantes durante toda la exposición: por un lado destacamos el empleo de aire comprimido, que con sus características de alta presión y baja humedad, asociadas con la eliminación de la vía nasal durante el buceo y la exposición facial a un medio hipotérmico, puede favorecer la aparición de un reflejo de estrechamiento bronquial por acción vagal² que va a estar favorecido por la práctica de ejercicios físicos¹⁷. Además de lo anterior, el empleo de los equipos de buceo favorece la aparición de cambios adaptativos pulmonares⁴³, que junto a la modificación de los patrones respiratorios^{23,24}, son factores que en su conjunto podrían explicar los cambios espirométricos observados desde el inicio del curso de buceo.

Finalmente, como conclusión podemos decir que el modelo de recogida de datos ha sido una herramienta útil para determinar la evolución espirométrica de un colectivo que se somete por primera vez al medio acuático, ya que objetiva que ni el tiempo de exposición ni la profundidad son importantes para producir estos cambios. Entre los factores que pueden explicar estas modificaciones destacamos las características mecánicas del equipo de buceo, así como las características físicas de la mezcla gaseosa.

Bibliografía

- Hope A, Lund T, Elliott DH, Hulsey M, Wiig H, editors. Long term health effects of diving. Bergen, Norway: Norwegian Underwater Technology Centre; 1994.
- Crosbie WA, Clarke MB. Physical characteristics and ventilatory function of 404 commercial divers working in the North Sea. *Br J Ind Med*. 1977; 34:19-25.
- Crosbie WA, Reed JW, Clarke MC. Functional characteristics of the large lungs found in commercial divers. *J Appl Physiol*. 1979;46:639-45.
- Davey IS, Cotes JE, Reed JW. Relationship of ventilatory capacity to hyperbaric exposure in divers. *J Appl Physiol*. 1984;56:1655-8.
- Skogstad M, Thorsen E, Haldorsen T. Lung function over the first 3 years of a professional diving career. *Occup Environ Med*. 2000;57:390-5.
- Fitzpatrick DT, Conkin J. Improved pulmonary function in working divers breathing nitrox at shallow depths. *Aviat Space Environ Med*. 2003;74:763-7.
- Widell PJ, Bennett PB, Kivlin P, Gray W. Pulmonary oxygen toxicity in man at 2 ata with intermittent air breathing. *Aerospace Med*. 1974;45(4):407-10.
- Crosbie WA, Cumming G, Thomas IR. Acute oxygen toxicity in a saturation diver working in the North Sea. *Undersea Biomed Res*. 1982;30:231-5.
- Cantais E, Louge P, Suppini A, Foster P, Palmier B. Right-to-left shunt and risk of decompression illness with cochleovestibular and cerebral symptoms in divers: Case control study in 101 consecutive dive accidents. *Crit Care Med*. 2003;31(1):84-8.
- Harris RJD, Doolette DJ, Wilkinson DC, Williams DJ. Measurement of fatigue following 18 msw dry chamber dives breathing air or enriched air nitrox. *Undersea Hyperb Med*. 2003;30(4):285-91.
- Wisloff U, Richardson RS, Brubakk AO. Exercise and nitric oxide prevent bubble formation: a novel approach to the prevention of decompression sickness? *J Physiol*. 2004;555 (Pt 3):825-9.
- Desola Ala J. Accidentes de buceo (1). Enfermedad descompresiva. *Med Clin (Barc)*. 1990;95:147-56.
- Oriani G, Marroni A, Wattel F. Handbook on hyperbaric Medicine. Milano, Italia: Springer-Verlag; 1996.
- Bermon S, Magnié MN, Dolisi C, Wolkiewicz J, Gastaud M. Decreased pulmonary diffusing capacity of divers over a 6-year period. *Eur J Appl Physiol*. 1997;76:170-3.
- Calder IM, Sweetnam K, Chan KK, Williams MMR. Relation of alveolar size to forced vital capacity in professional divers. *Br J Ind Med*. 1987;44:467-9.
- Tetzlaff K, Friege L, Koch A, Heine L, Neubauer B, Struck N, et al. Effects of ambient cold and depth on lung function in humans after a single scuba dive. *Eur J Appl Physiol*. 2001;85:125-9.
- Dillard TA, Ewald FW. The use of pulmonary function testing in piloting, air travel, mountain climbing and diving. *Clin Chest Med*. 2001;22(4):795-816.
- Jenks SL, Morrison JB. Respiratory work in dry and immersed states. En: Sterk W, Geeraedts L, editors. Proceedings of the XVI Annual Meeting of EUBS. Amsterdam, The Netherlands; 1990. p. 61-8.
- Morrison JB. The measurement of respiration at high ambient pressures. En: Drew EA, Lythgoe JN, Woods JD, editors. Underwater Research. London: Academic Press; 1976. p. 237-51.
- Segadal K, Furevik DM, Myrseth E. Breathing resistance: keeping the requirements realistic. Proceedings of an International Conference, DIVE-TECH; 1984 Nov 14-15, London, UK; 1984. p. 85-98.
- Bulmann AA. Respiratory resistance with hyperbaric gas mixtures (respiratory effects of increased pressure). Proceedings of the 2nd symposium on underwater physiology. Washington. En: Lambersten CJ, Greenbaum LJ, editors. Natl Acad Sci Natl Res Council. 1963;98-108.
- Schaefer KE. Effect of prolonged diving training. Proceedings of the 2nd symposium on underwater physiology. Washington. En: Lambersten CJ, Greenbaum LJ, editors. Natl Acad Sci Natl Res Council. 1963;271-6.
- Albano G. Principles and observations on the physiology of the scuba diver. Office of Navy Research, Department of the Navy, Arlington, Virginia; 1970. p. 67-132.
- Henke KG, Sharrat M, Pegelow D, Dempsey A. Regulation of end-expiration lung volume during exercise. *J Appl Physiol*. 1988;64:135-46.
- Hesser CM, Lind F, Linnarsson D. Significance of airway resistance for the pattern of breathing and lung volumes in exercising humans. *J Appl Physiol*. 1990;68:1875-82.
- Maio DA, Farhi LE. Effect of gas density on mechanics of breathing. *J Appl Physiol*. 1967;23(5):687-93.
- Dougherty JH. Use of H₂ as an inert gas during diving: Pulmonary function during H₂-O₂ breathing at 7.06 ATA. *Aviat Space Environ Med*. 1976; 47(6):618-26.
- Standardized lung function testing. Report working party. *Bull Eur Physio-pathol Respir*. 1983;19 Suppl 5:1-95.
- Bermon S, Lapoussiere JM, Dolisi C, Wolkiewicz J, Gastaud M. Pulmonary function of a firemen-diver population: a longitudinal study. *Eur J Appl Physiol*. 1994;69(5):456-60.
- Skogstad M, Thorsen E, Haldorsen T, Kjuus H. Lung function over six years among professional divers. *Occup Environ Med*. 2002;59:629-33.

31. Fitch KD, Morton AR. Enfermedad respiratoria. En: Dirix A, Knuttgen HG, Tittel K, editors. Libro olímpico de la medicina deportiva. Barcelona: Doyma; 1990. p. 561-72.
32. Skogstad M, Thorsen E, Haldorsen T, Melbostad E, Tynes T, Westrum B. Diver's pulmonary function after open-sea bounce dives to 10 and 50 meters. *Undersea Hyperb Med.* 1996;23(2):71-5.
33. Thorsen E, Ronnestad I, Segadal K, Hope A. Respiratory effects of warm and dry air at increased ambient pressure. *Undersea Biomed Res.* 1992;19(2):73-83.
34. Tetzlaff K, Friege I, Reuter M, Mutzbauer T, Neubauer B. Expiratory flow limitation in compressed air divers and oxygen divers. *Eur Respir J.* 1998; 12:895-9.
35. Hagberg M, Ornhagen H. Incidence and risk factors for symptoms of decompression sickness among male and female dive masters and instructors. A retrospective cohort study. *Undersea Hyperb Med.* 2003;30(2):93-102.
36. Freiburger JJ, Lyman SJ, Denoble PJ, Piper CF, Vann RD. Consensus factors used by experts in the diagnosis of decompression illness. *Aviat Space Environ Med.* 2004;75(12):1023-8.
37. Schoenberg JB, Beck GJ, Bouhuys A. Growth and decay of pulmonary function in healthy blacks and whites. *Respir Physiol.* 1978;33(3):367-93.
38. Thorsen E, Risberg J, Segadal K, Hoipe A. Effects of venous gas microemboli on pulmonary gas transfer function. *Undersea Hyperb Med.* 1995;22(4):347-53.
39. Dujic Z, Eterovic D, Denoble P, Krstacic G, Tocilj J, Gosovic S. Effect of a single air dive on pulmonary diffusing capacity in professional divers. *J Appl Physiol.* 1993;74:55-61.
40. Tetzlaff K, Neubauer B, Reuter M, Friege L. Atopy, airway reactivity and compressed air diving in males. *Respiration.* 1998;65:270-4.
41. Reed JW, Elliott C, Thorsen E. Increased lung compliance in response to moderate hyperoxic exposure. *Undersea Hyperb Med.* 2001;28(1):19-23.
42. Lemaitre F, Meunier N, Bedu M. Effect of air diving exposure generally encountered by recreational divers: Oxidative stress? *Undersea Hyperb Med.* 2002;29(1):39-49.
43. Koehle MS, Hodges ANH, Lynn BM, Rachich MF, McKenzie DC. Diffusing capacity and spirometry following a 60-minute dive to 4.5 minutes. *Undersea Hyperb Med.* 2006;33(2):109-18.