

Seguridad de uso del equipo de inmersión CRABE con relación a la aparición de edema pulmonar de inmersión en aguas poco profundas.

Tello-Montoliu A.¹, Martínez-Villar M.², Pujante-Escudero A.³, Martín-Martín S.⁴, De-la-Morena-Valenzuela G.⁵, Olea-González A.⁶

Sanid. mil. 2021; 77 (3): 123-128, ISSN: 1887-8571

Título Breve: Seguridad clínica del equipo CRABE

RESUMEN

Antecedentes: Existe una alerta de seguridad sobre el uso del equipo semi-cerrado CRABE por la aparición de edema pulmonar de inmersión (EPI). Este equipo es usado por diferentes Marinas de la OTAN, entre ellas España. **Objetivo:** evaluar la seguridad de uso del sistema semi-cerrado CRABE en buceo militar. **Material y Métodos:** Estudio prospectivo, participando un total de 14 hombres de la Unidad de Buceadores de Medidas Contra Minas (UBMCM), ubicada en Cartagena. Se programó un esquema de inmersiones, todas a una profundidad de 10m, siguiendo un protocolo creciente de tiempos de fondo desde 30 minutos hasta 120 minutos. Previamente y después de cada inmersión se realizó control a los buceadores que incluye auscultación, tensión arterial, Sat HbO₂ y anamnesis sobre sintomatología típica de EPI, además en la de 120 minutos, se procedió antes y después de la inmersión a realizar ecografía cardiopulmonar y determinación sanguínea de NT pro-BNP. **Resultados:** Las inmersiones se realizaron sin incidencias. Ningún sujeto mostró signos ni síntomas clínicos relacionados con compromiso respiratorio o edema de pulmón durante o tras finalizar estas inmersiones. En la fase de 120 minutos, 9 de los 14 sujetos (64,2%) presentaron artefactos en cola de cometa en la eco pulmonar postinmersión-cuyo contaje no alcanzó el mínimo diagnóstico. No se registraron niveles patológicos de NT pro-BNP. **Conclusiones:** El uso de un sistema semi-cerrado CRABE no se asoció a la aparición clínica de EPI.

PALABRAS CLAVE: Edema pulmonar de inmersión, ecografía pulmonar, NT proBNP, equipo de buceo de circuito semi-cerrado, Medicina subacuática.

Safety of use of CRABE immersion equipment in relation to the appearance of pulmonary edema of immersion in shallow waters.

ABSTRACTSUMMARY

Background: It has been risen a warning related with immersion pulmonary edema (IPE) associated to the use of the semi-closed rebreather circuit CRABE. This is a diving equipment broadly used among NATO countries, including Spanish Navy. **Aim:** to evaluate the safety of semi-closed circuit CRABE in military use, particularly in its association with IPE. **Methods:** This is a prospective study, in which 14 male active navy divers from 1st Mine Countermeasures (MCM) Squadron (Cartagena) were recruited. The diving protocol was programmed with increasing bottom times, from 30 to 120 minutes, at 10 meters shallow water. All divers underwent to physical examination for IPE symptoms screening before and after dives. At 120 minutes bottom time, a pulmonary and cardiac echography as well as blood sampling were also performed before and after dives. Serum levels of NT pro-BNP were assessed. **Results:** All diver completed successfully all dives. No diver developed any symptom related to respiratory compromise or IPE after dives. At 120 minutes bottom time phase, 9 out of 14 (64.2%) divers developed ultrasound lung comets (ULC). This number is below the cut-off point for pulmonary edema diagnosis. There was not NT pro-BNP levels above the clinically recommended cut-off point for heart failure diagnosis. **Conclusions:** The use of semi-closed circuit rebreather CRABE was not associated to IPE.

KEY WORDS: immersion pulmonary edema, pulmonary echography, NT pro-BNP, semi-closed circuit SCUBA, Diving Medicine

1. Servicio de Cardiología, Hospital Clínico Universitario Virgen de la Arrixaca, Instituto Murciano de Investigación Biosanitaria (IMIB-Arrixaca), CIBERCV, Murcia.
2. Servicio de Pediatría, Hospital Vega Baja, Orihuela.
3. Teniente Coronel. Médico. Centro Buceo Armada. Cartagena. España.
4. Capitán. Enfermera. Centro Buceo Armada. Cartagena. España.
5. Servicio de Cardiología, Hospital Clínico Universitario Virgen de la Arrixaca, Instituto Murciano de Investigación Biosanitaria (IMIB-Arrixaca), CIBERCV, Murcia.
6. Coronel. Médico. Centro Buceo Armada. Cartagena. España

Dirección para correspondencia: Agustín Olea González. Centro de Buceo de la Armada. Estación Naval de la Algameca s/n. Cartagena – Murcia. Teléfono/fn.- 968567725 RPV.- 8257725. aoleag@fn.mde.es

Recibido: 22 de diciembre de 2020
Aceptado: 03 de febrero de 2021

doi: 10.4321/S1887-85712021000300002

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha producido un incremento en el interés por una patología relacionada con el buceo y la natación: el Edema Pulmonar de Inmersión (EPI). El EPI es una forma de edema pulmonar descrita en buceadores, apneístas e incluso nadadores¹⁻³. Es una entidad comúnmente infradiagnóstica, aunque con evolución normalmente benigna y tratamiento sencillo o resolución espontánea⁴. No obstante, es responsable de aproximadamente el 10% de los accidentes de buceo llegando a causar la muerte del buceador (1% de los casos)⁵. Esta entidad se trata de una forma de edema en capilar pulmonar con



Figura 1. Inicio de inmersión en la fase de 120 minutos de fondo.

fisiopatología todavía no esclarecida, dudándose entre un origen no cardiogénico (aumento de la permeabilidad del capilar pulmonar o incluso disrupción de la membrana alveolo-capilar) o cardiogénico (aumento principalmente retrogrado de la presión en el postcapilar pulmonar)^{6,7}, aunque el papel del ventrículo derecho se está redefiniendo como participante en esta patología⁸. Se han relacionado varios factores desencadenantes y predisponentes como baja temperatura del agua, estrés, ejercicio físico intenso, además de patologías previas del buceador⁹⁻¹¹. Otros factores son los relacionados con el incremento del trabajo respiratorio y el uso de mezclas sobreoxigenadas durante el buceo⁴.

Desde hace más de 30 años, la Armada Española utiliza equipos de circuito semicerrado. Estos equipos emplean mezclas sobreoxigenadas y reutilizan la mezcla respiratoria, lo que favorece estancias más prolongadas debajo del agua. Estas características junto con su carácter amagnético lo hacen ideal para misiones de detección, identificación y desactivación de artefactos explosivos subacuáticos. Estos equipos, se configuran de forma distinta en función de la misión a realizar y la profundidad operativa. La Armada Española incluye dos equipos, el DC 55 y el CRABE. El DC 55 (de Duffant Casenave, desarrollado en el año 1955) emplea mezclas Nitrox (nitrógeno-oxígeno), y permite alcanzar una profundidad operativa de 55 metros, mientras que el CRABE (Complete Range Autonomous Breathing Equipment, Aqualung, Carros, France), una versión moderna del DC55 y que entró en funcionamiento en el año 2015, está diseñado para utilizar tanto Nitrox como Trimix, alcanzando una máxima profundidad operativa de 80 metros. Recientemente, y a raíz de algunos incidentes relacionados con el uso del CRABE y su supuesta relación con la aparición de EPI, se lanzó una alerta de seguridad sobre su uso. La consecuencia inmediata y en un intento de prevenir la aparición de este cuadro clínico, fue una restricción de tiempo en el fondo, lo que supone una pérdida importante de capacidad operativa del equipo. No obstante, la relación entre el uso de este circuito semi-cerrado y el EPI no es del todo clara.

Por lo tanto y en un intento de relacionar el uso de este equipo con la aparición de EPI, se diseñó el presente estudio para evaluar la seguridad de su uso en buceo a poca profundidad (hasta 10 metros) y en particular con la aparición de hallazgos clínicos o ecográficos relacionados con la extravasación de líquido pulmonar o cualquier forma de edema de pulmón.

MATERIAL Y MÉTODOS

Estudio prospectivo en el cual participan 14 sujetos de sexo masculino, todos son buceadores de Medidas Contra Minas (UBMCM), pertenecientes a la Fuerza Naval de Medidas Contraminas, ubicada en Cartagena. Todos ellos con más de 10 años de experiencia en buceo militar, teniendo una estancia media en esta unidad de 4 años, participando activamente en misiones de caza de minas en aguas poco profundas (hasta 25 metros de profundidad) y en el uso de equipos de sistema semi-cerrado. En particular, esta Unidad tiene un tiempo medio de uso del sistema CRABE de 3 años, sin presentar accidentes previos de buceo ni particularmente relacionados con este equipo.

Se programó un esquema de inmersiones, todas a una profundidad objetivo de 10m, siendo un protocolo creciente de tiempos de fondo (Tabla 1). En resumen, se comenzó con inmersiones a la profundidad marcada de 30 minutos de tiempo en el fondo, incrementando progresivamente hasta 120 minutos. Durante esas inmersiones, se cubrió una distancia suficiente para mantener al buzo nadando (nivel de esfuerzo: ligero), durante todo el tiempo. Se empleó el equipo CRABE con mezcla de gases Nitrox 60% (60% oxígeno y 40% nitrógeno). La temperatura media del agua durante la prueba fue de 23°C. La protección térmica fue la habitual para esta actividad; traje húmedo de 5 mm. (Figura 1). Antes de la inclusión de los sujetos en el estudio, se llevó a cabo una anamnesis y exploración física exhaustiva con toma de constantes y electrocardiograma de cada uno de ellos, para descartar patologías previas (Figura 2).

Tabla 1. *Tabla de protocolo creciente de tiempo en fondo*

Mezcla	Profundidad	Tiempo en el fondo	Inmersiones	Tiempo
NITROX 60 (60% O ₂ , 40% N ₂)	10 mts.	30 min.	50	1500 min.
		60 min.	50	3000 min.
		90 min.	50	4500 min.
		120 min.	50	6000 min.
				Tiempo Total: 250 horas

Todos los sujetos fueron informados del proyecto y dieron su consentimiento mediante firma de consentimiento informado. El presente estudio cumple con las directrices de la declaración de Helsinki y fue aprobado por el comité ético del Hospital Central de la Defensa Gómez Ulla en Madrid.

Fases de 30 minutos a 90 minutos de fondo

A todos los sujetos se les realizó previamente y de forma inmediata tras la inmersión: anamnesis, especialmente dirigida a constatar la presencia de signos y síntomas de edema pulmonar o compromiso respiratorio y auscultación, así como determinación de constantes básicas: presión arterial (PA), frecuencia cardíaca (fc) y saturación de O₂ (SatO₂) en sangre capilar.

Fase de 120 minutos de fondo

Dado que esta fase se proyectó como el tiempo de fondo más prolongado, además de los procedimientos realizados en las anteriores fases, se les realizó inmediatamente antes y tras la inmersión una ecocardiografía basal, eco pulmonar y extracción de sangre.

Exploración ecográfica

La ecocardiografía constaba de la realización de los planos habituales en 2D: eje largo, eje corto a nivel del ápex, eje corto a nivel de músculos papilares, eje corto a nivel de grandes vasos. 2,3, 4 y 5 cámaras en proyección apical. Se realizaron estimaciones con Doppler en todas la proyecciones, así como medición de la función ventricular izquierda (método de Simpson) y derecha (TAPSE). Se obtuvieron medidas con Doppler tisular para

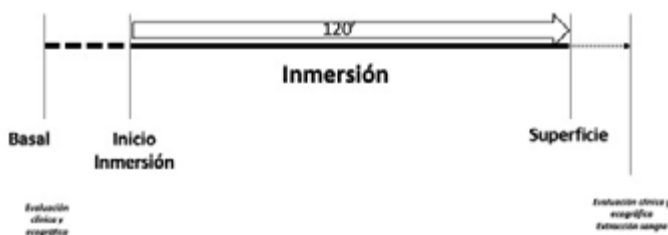


Figura 2. *Detalle de la adquisición de imágenes con ecocardiografía.*

determinación de la función diastólica, según protocolo recomendado en las actuales guías^{12,13} Finalmente, se determinaron variaciones en la vena cava inferior.

En los últimos años, se ha incrementado el uso de la exploración ecográfica pulmonar en el diagnóstico del edema pulmonar. Esta exploración detecta la presencia de líquido extravascular en tejido pulmonar, representado como cola de cometa” (ACC). La exploración se realizó en tórax anterior, siendo dividido en 8 campos siguiendo protocolos habituales¹⁴. El número total de estos artefactos fue cuantificado en cada uno de los sujetos como número total. Este número se relaciona con el grado de extravasación de líquido líquido extrapulmonar, siendo considerado un conteo total de > 30 ACC como presencia severa de líquido extravascular pulmonar y por tanto un edema de pulmón franco¹⁵. Estas mediciones fueron llevadas a cabo por personal capacitado del Servicio de Cardiología del Hospital Clínico Universitario Virgen de la Arrixaca, utilizando un equipo HD15 (Philips Healthcare; Best, Netherlands) con sondas de 2 a 4 MHz.

Muestras sanguíneas

Las muestra se sangre se obtuvieron en ayunas de 2 horas, mediante punción antecubital con aguja, practicando torniquete. Se recogieron tubos con activador de la coagulación para muestras de suero. Todas estas muestras fueron centrifugadas a 3200 rpm, siendo el sobrenadante alicototado y conservado a -80°C para su posterior análisis. Se determinó el fragmento N terminal del péptido natriurético cerebral (NT pro-BNP) como marcador establecido de sobrecarga ventricular en la insuficiencia cardíaca, en un analizador ElecsysCobas e 601 analyzer (Roche Diagnostics, Mannheim, Germany).

Análisis estadístico

Se comprobó la normalidad de las variables continuas utilizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Las variables continuas se expresaron como media (± desviación estándar, DE) o mediana (rango intercuartil), según corresponda, y las variables categóricas como porcentaje.

Las correlaciones entre dos variables continuas se realizaron utilizando el coeficiente de correlación de Pearson o la correlación de rango de Spearman, si las variables no se distribuían normalmente. Las diferencias entre 2 variables independientes se compararon con t-Student o U Mann Whitney; y para variables dependientes de 2 usando t-Student para muestras emparejadas o prueba de Wilcoxon en distribución paramétrica o no paramétrica. P <0.05 fue aceptado como estadísticamente significativo. El análisis estadístico se realizó utilizando el software SPSS v20.0 (SPSS, Inc., Chicago, IL, EE. UU.).

RESULTADOS

Las características basales de los sujetos a estudio se detallan en la Tabla 2. En resumen, la media de edad fue 39,4 ± 5,8 años, siendo todos hombres. Presentaban un índice de masa corporal medio de

Tabla 2. *Parámetros basales*

Sujeto	Edad	Peso (Kg)	Talla (cm)	IMC	TA (mmHg)	Fc (lpm)
1	30	85	174	28,1	120/60	65
2	39	75	164	27,9	130/85	70
3	50	85	176	27,4	140/85	74
4	37	72	173	24,1	120/70	58
5	37	80	175	26,1	110/80	50
6	43	65	170	22,5	120/70	62
7	37	105	196	27,3	140/80	56
8	43	78	170	27,0	125/75	65
9	43	78	180	24,1	130/80	60
10	43	68	176	22,0	120/80	52
11	39	100	181	30,5	135/85	70
12	43	97	192	26,3	130/80	64
13	39	88	186	25,4	120/74	56
14	29	92	185	26,9	125/70	60

26,1 ± 2,3. Ninguno presentó patología de interés en su historia médica. Así mismo, no presentaban factores de riesgo cardiovascular.

De la misma manera, no presentaron alteraciones estructurales cardíacas, demostradas en la exploración física y en la ecocardiografía basal (Tabla 3).

Tabla 3. *Parámetros ecocardiográficos basales.*

Parámetro	Basal
Volumen TD VI (ml)	113.3 ± 19
Volumen TS VI (ml)	45.1 ± 10.3
Diámetro TD VI (mm)	46.1 ± 3.6
Diámetro TS VImm)	30.6 ± 3.1
FEVI (%)	60.3 ± 4.5
Volumen AI (ml)	41.5 ± 16.2
Onda E mitral (m/s)	0.80 ± 0.11
Onda A mitral (m/s)	0.57 ± 0.07
E/A ratio	1.4 ± 0.21
Índice E/e' septal	8.6 ± 2.2
Índice E/e' Lateral	5.6 ± 1.3
Volumen TD VD (ml)	21.8 ± 4.3
Volumen TS VD (ml)	12.0 ± 2.6
FAVD (%)	45.3 ± 8.65
TAPSE (mm)	24.7 ± 4.7
Volumen AD (ml)	48.9 ± 17.6
Diámetro VCI (mm)	14.1 ± 3.8
Ratio VD/VI	0.83 ± 0.19

VI: Ventrículo Izquierdo; VD: Ventrículo Derecho; TD: Telediastólico; TS: Telesistólico; FEVI: Fracción de eyección del ventrículo izquierdo; FAVD: fracción de acortamiento del ventrículo derecho; AI: Aurícula izquierda; VCI: vena cava inferior

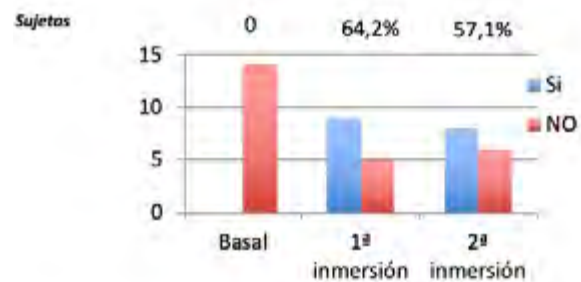
Fases de 30 minutos a 90 minutos de fondo

Las inmersiones con tiempos crecientes se realizaron sin incidencias. Ningún sujeto mostró signos o síntomas relacionados

con compromiso respiratorio o edema de pulmón ni de otra índole durante o al finalizar estas inmersiones. Las constantes determinadas no se modificaron de forma significativas.

Fase de 120 minutos de fondo

Durante esta fase todos los sujetos a excepción de uno, realizaron 2 inmersiones no consecutivas. De la misma forma que en fases anteriores, ninguno de los sujetos experimentó síntomas ni signos relacionados con compromiso respiratorio o edema pulmonar ni de otra índole. Se registró un aumento de la PA tras la inmersión de forma significativa, pero dentro de los parámetros normales tras un esfuerzo. No hubo modificación en la fc ni en la SatO₂. Tras las inmersiones 9 de los 14 sujetos (64,2%) presentaron ACC. El conteo máximo de cometas fue de 10 ACC en uno de los sujetos, después de su segunda inmersión, siendo en la mayoría el recuento menor de 5 cometas. De hecho, sólo 3 de los 14 sujetos presentaron un recuento situado en grado ligero (de 5 a 15 ACC en total¹⁵) de extravasación. (Figura 3).



	1ª INMERSIÓN	2ª INMERSIÓN
1	1	1
2	2	7
3	2	10
4	1	2
5	2	1
6	3	1
7	3	0
8	5	2
9	1	2

Figura 3. Porcentaje de aparición de artefacto en cola de cometa en las dos inmersiones realizadas en la fase de 120 minutos de fondo (gráfico superior). Número de artefactos en cola de cometa en cada sujeto tras las dos inmersiones en la fase de 120 minutos de fondo (tabla inferior).

En el análisis ecocardiográfico después de las inmersiones, se apreció una disminución de los volúmenes de VI que, aunque significativo, dentro de los parámetros de normalidad (diámetro telediastólico 113.3 ± 19 vs 99.4 ± 10.8 mL; p=0.011; diámetro telesistólico: 45.1 ± 10.3 vs. 36.5 ± 8.9 mL; p=0.006). Dados estos cambios, la fracción de eyección del ventrículo izquierdo aumento de forma estadísticamente significativa, aunque sin significado clínico. En el estudio de la función diastólica se registró una disminución de la onda E (0.80 ± 0.11 vs 0.63 ± 0.10, m/s; p<0.001) sin alteración de la onda A (0.57 ± 0.07 vs 0.60 ±

0.08 m/s, $p=0.417$), reduciendo así la ratio E/A (1.4 ± 0.21 vs 1.07 ± 0.22 , $p<0.001$). Como en el caso anterior, aunque estadísticamente significativos estos cambios, numéricamente y clínicamente no presentaron significación. Se detectó insuficiencia tricuspídea significativa en 7 pacientes (50%), pudiendo estimar un gradiente AD-VD dentro de la normalidad, tanto basalmente como tras la inmersión (17.74 ± 2.29 Vs. 13.12 ± 4.15 mmHg; $p=0.176$). Todos los parámetros ecocardiográficos se encuentran detallados en la Tabla 3. Los niveles de NT pro-BNP basales fueron de $29,78 \pm 24,38$ pg/mL. Tras la inmersión se produjo un ascenso no significativo a $39,11 \pm 19,21$ pg/mL ($p=0,208$). Los niveles alcanzados tanto pre como post se encontraron dentro del rango de la normalidad (Figura 4). No se observó ninguna correlación significativa entre ninguna de las variables a estudio.

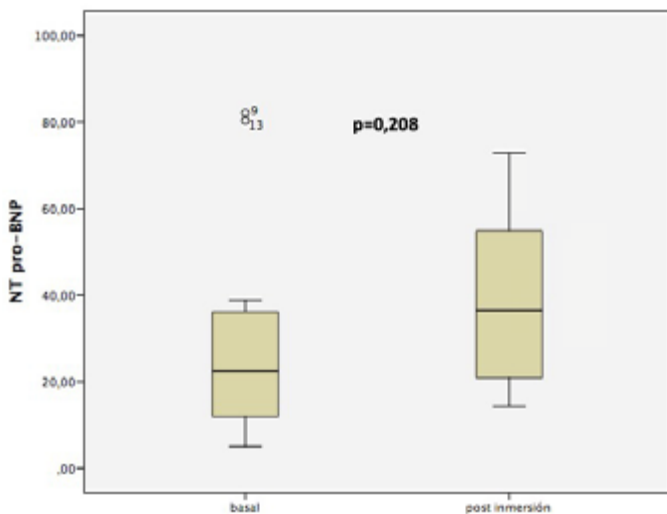


Figura 4. Niveles de NT proBNP en sangre basalmente y tras la inmersión (fase de 120 minutos de fondo). Las cajas denotan niveles del biomarcador, las barras el error estándar.

DISCUSIÓN

Los principales hallazgos de este estudio fueron: 1) la utilización del equipo CRABE a 10 metros de profundidad a tiempos crecientes hasta 120 minutos no se acompañó de clínica ni semiología de edema pulmonar; 2) tras 120 minutos de fondo el 64,20% de los sujetos presentan ACC en la eco pulmonar como representación ecográfica de líquido intersticial, sin embargo sólo 3 de 14 sujetos presentan un conteo de líneas caracterizado como grado ligero de extravasación de líquido intersticial, estando el resto por debajo de este límite. Y 3) se comprobó la ausencia de sobrecarga ventricular al no presentar aumento de volúmenes ventriculares ni elevación niveles de NT proBNP. En definitiva, se comprueba que no hay una extravasación significativa de líquido al intersticio pulmonar ni cuadro clínico compatible con edema de pulmón.

La fisiopatología del EPI continúa sin ser totalmente elucidado, aunque se han generado algunas hipótesis. Las primeras están relacionadas con cambios en la fisiología cardíaca, particularmente con aumentos en la precarga por la redistribución vascular¹⁶. También se ha sugerido desbalances entre el volumen latido de cavidades derechas e izquierdas^{7,8}. Otros autores han sugerido alteraciones transitorias en la función contráctil de los

ventrículos (similar a las miocardiopatías de estrés)^{17,18}. Asimismo, la influencia de los factores externos (frio, ejercicio, estrés) se relacionan con el sistema cardiovascular mediante una serie de efectores bioquímicos^{4,6,11}. Especial importancia parece tener el aumento de presión del capilar pulmonar, motivado sobretodo por el ejercicio físico intenso^{4,6}, así como las presiones respiratorias negativas durante la inmersión cuyo origen es multifactorial (diseño del equipo respiratorio, aumento densidad de los gases respirados al incrementarse la profundidad, broncoconstricción por frío...)¹¹.

Desde el punto de vista clínico, el EPI es superponible sintomáticamente con otros tipos de edema pulmonar, por lo que el diagnóstico está basado en las mismas pruebas²⁰. En los últimos años, el uso de la ecografía pulmonar para el diagnóstico del edema pulmonar se ha hecho más frecuente en la práctica clínica habitual^{14,15}. En la exploración se caracteriza la extravasación de líquido al espacio intersticial pulmonar, que se visualiza como ACC^{14,15}. Estas guías definen el número mínimo de este tipo de artefactos para ser considerado insuficiencia cardíaca o edema pulmonar¹⁵. De hecho, se ha relacionado la práctica de buceo con la aparición de ACC⁷.

Estudios preliminares demuestran que un alto número de sujetos desarrollan ACC tras la inmersión, pero sin correlación clínica de EPI⁷. Por lo tanto, la sospecha es que la aparición de líquido en el intersticio pulmonar podría indicar una forma preclínica de EPI²¹. Por otro lado, podría tratarse de una respuesta “fisiológica” a los cambios cardiovasculares inducidos por la inmersión y modulada por los factores externos antes mencionados. Por lo tanto, es importante no solo continuar con los avances en la comprensión en los procesos fisiopatológicos que pueden asociar la extravasación de fluido (ACCs) con el EPI clínico, si no también utilizar unos criterios diagnósticos válidos. En el caso del presente estudio, se usaron la clasificación para edema pulmonar cardiogénico¹⁴. Como antes hemos destacado, solo tres sujetos presentaron un conteo de ACCs que podría considerarse extravasación de grado ligero, pero nunca edema de pulmón.

Otro punto diagnóstico en el fallo ventricular agudo, en forma de insuficiencia cardíaca (o su forma más grave de edema pulmonar) se apoya en la utilización de biomarcadores como representación de ese daño agudo. El NT proBNP es un marcador relacionado con el incremento de las presiones ventriculares de llenado, y que se ha convertido en una herramienta diagnóstica esencial en la práctica habitual, con significado pronóstico y especial relevancia en el diagnóstico diferencial de la disnea^{22,23}. En el presente estudio, no se registraron elevaciones significativas de niveles de NT proBNP, siendo en todo momento los niveles registrados sin exceder el punto de corte preestablecido para diagnóstico de insuficiencia cardíaca (125 pg/mL de NT proBNP)^{22, 24}. Por ello, se confirma la ausencia de diagnóstico de edema pulmonar en estos sujetos.

La alerta relacionada con la asociación de EPI y el sistema de buceo semi-cerrado CRABE ha hecho que diferentes naciones usuarias de este equipo hayan restringido mucho la duración máxima de las inmersiones, lo que supone una importante merma operativa del equipo. Si bien es cierto que el buceo con equipos semi-cerrados produce un aumento del trabajo respiratorio durante la inmersión y por tanto un factor de riesgo adicional de EPI, no es el único factor ni el más importante^{11,18}. Por otra parte el diseño del equipo CRABE, demuestra mejorar los parámetros de trabajo tanto inspiratorio como espiratorio con respecto a los equipos precedentes (DC-55), cuya fiabilidad no se ha cuestionado

en muchos años de uso. No obstante, el número de casos de EPI relacionados con este es bajo. Esto podría significar que son otros factores desencadenantes los que han propiciado la aparición de EPI, sin ser particularmente este equipo el responsable final del evento adverso. En esta serie, buceadores expertos han completado varias inmersiones de duración creciente con situación controlada, sin aparecer ningún signo que relacione este uso al edema en capilar pulmonar y por supuesto a EPI.

Sin embargo, debemos reconocer ciertas limitaciones del estudio. Primero, el carácter observacional con baja muestra hace que no se pueda llegar a conclusiones más firmes. No obstante, es muy difícil alcanzar tamaños muestrales más grandes de buzos experimentados con este sistema de inmersión (para eliminar el factor de adaptación). Segundo, el presente estudio se llevó a cabo en temperaturas de agua cálidas y sin trabajo físico intenso ni estrés importante (profundidad elevada, mala visibilidad, presencia de artefactos explosivos, etc) Esto es importante, puesto que estos factores son predisponentes para EPI y es interesante estudiarlos en el contexto de la inmersión. Tercero, la determinación de sangre está realizada en torno los 120 minutos, siendo un tiempo ligeramente corto en comparación para lo recomendado en guías de práctica clínica^{21,24}. No obstante, elevaciones de ambos biomarcadores son patentes en este tiempo en pacientes con clínica de edema pulmonar, siendo posible aceptar su negatividad. La ausencia de detección de insuficiencia tricuspídea en la mitad de los sujetos dificulta la estimación de la presión pulmonar en este estudio. Aunque la aparición de aumentos en la presión pulmonar está estrechamente relacionada con la fisiopatología del EPI, el objetivo del presente trabajo fue más la detección de la aparición de este fenómeno que ahondar en su fisiopatología. El resultado de no encontrar EPI es concordante con no registrar elevaciones de la presión pulmonar, si bien el número de sujetos es bajo. La relación de la presión pulmonar y el fenómeno de líquido extravascular pulmonar está siendo estudiado en la actualidad por nuestro grupo. Finalmente, carecemos de grupo control con otro sistema semi-cerrado que sirva de comparador para todos estos parámetros.

En conclusión, el uso de un sistema semi-cerrado CRABE no se asoció a EPI ni signos compatibles de este. No se aprecia que la aparición de extravasación de líquido a nivel del capilar pulmonar sea superior a la encontrada en otros tipos de actividades acuáticas/subacuáticas^{7,11,21}.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento más sincero a personal de la UBMCM y personal de Sanidad del CBA por toda la ayuda prestada.

BIBLIOGRAFIA

1. Wilmshurst PT, Nuri M, Crowther A, Webb-Peploe MM. Cold-induced pulmonary oedema in scuba divers and swimmers and subsequent development of hypertension. *Lancet*. 1989;1:62-65
2. Adir Y, Shupak A, Gil A, Peled N, Keynan Y, et al. Swimming-induced pulmonary edema: clinical presentation and serial lung function. *Chest*. 2004;126:394-399.
3. Wilmshurst PT. Immersion pulmonary oedema: a cardiological perspective. *Diving Hyperb Med*. 2019;49:30-40.
4. Boussuges A, Ayme K, Chaumet G, Albier E, Borgnetta M, Gavarry O. Observational study of potential risk factors of immersion pulmonary edema in healthy divers: exercise intensity is the main contributor. *Sports Med Open*. 2017;3:35.
5. DAN annual diving report. 2017 edition. DAN network ISBN-13: 978-1-941027-76-9
6. West JB. Vulnerability of pulmonary capillaries during exercise. *Exerc Sport Sci Rev*. 2004;32:24-30
7. Castagna O, Gempp E, Poyet R, Schmid B, Desruelle AV, Crunel V, et al. Cardiovascular Mechanisms of Extravascular Lung Water Accumulation in Divers. *Am J Cardiol*. 2017;119:929-932
8. MacIver DH, Clark AL. The vital role of the right ventricle in the pathogenesis of acute pulmonary edema. *Am J Cardiol*. 2015;115:992-1000
9. Henckes A, Cochard G, Gatineau F, Louge P, Gempp E, Demaistre S, et al. Risk factors for immersion pulmonary edema in recreational scuba divers: a case-control study. *Undersea Hyperb Med*. 2019;46:611-618
10. Mahon RT, Kerr S, Amundson D, Parrish JS. Immersion pulmonary edema in special forces combat swimmers. *Chest*. 2002;122:383-384
11. Castagna O, Regnard J, Gempp E, Louge P, Brocq FX, Schmid B, Desruelle AV, et al. The Key Roles of Negative Pressure Breathing and Exercise in the Development of Interstitial Pulmonary Edema in Professional Male SCUBA Divers. *Sports Med Open*. 2018;4:1
12. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Filalo J, Armstrong A, Ernande L, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr*. 2015;28:1-39.e14
13. Paulus WJ, Tschöpe C, Sanderson JE, Rusconi C, Flachskampf FA, Rademakers FE, et al. How to diagnose diastolic heart failure: a consensus statement on the diagnosis of heart failure with normal left ventricular ejection fraction by the Heart Failure and Echocardiography Associations of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J*. 2007;28:2539-2550
14. Lichtenstein D, Mézière G, Biderman P, Gepner A, Barré O. The comet-tail artifact. An ultrasound sign of alveolar-interstitial syndrome. *Am J Respir Crit Care Med*. 1997;156:1640-1646
15. Jambrik Z, Monti S, Coppola V, Agrícola E, Mottola G, Miniati M, et al. Usefulness of ultrasound lung comets as a nonradiologic sign of extravascular lung water. *Am J Cardiol*. 2004;93:1265-1270.
16. Boussuges A, Blanc F, Carturan D. Hemodynamic changes induced by recreational scuba diving. *Chest*. 2006;129:1337-1343
17. Baber A, Nair SU, Duggal S, Bhatti S, Sundlof DW. Stress Cardiomyopathy Caused by Diving: Case Report and Review of the Literature. *J Emerg Med*. 2016;50:277-280
18. Gempp E, Louge P, Henckes A, Demaistre S, Heno P, Blatteau JE. Reversible myocardial dysfunction and clinical outcome in scuba divers with immersion pulmonary edema. *Am J Cardiol*. 2013;111:1655-1659
19. Marinovic J, Ljubkovic M, Breskovic T, Gunjaca G, Obad A, Modun Det al. Effects of successive air and nitrox dives on human vascular function. *Eur J Appl Physiol*. 2012;112:2131-2137
20. Ware LB, Matthay MA. Clinical practice. Acute pulmonary edema. *N Engl J Med*. 2005;353:2788-2796.
21. Pingitore A, Garbella E, Piaggi P, et al. Early subclinical increase in pulmonary water content in athletes performing sustained heavy exercise at sea level: ultrasound lung comet-tail evidence. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2011;301:2161-2167
22. Levin ER, Gardner DG, Samson WK. Natriuretic peptides. *N Engl J Med* 1998; 339:321-8
23. Ponikowski P, Voors AA, Anker SD, Bueno H, Cleland JGF, Coats AJS, et al. 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) Developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC [published correction appears in *Eur Heart J*. 2016 Dec 30;]. *Eur Heart J*. 2016;37:2129-2200.
24. Louge P, Coulangue M, Beneton F, et al. Pathophysiological and diagnostic implications of cardiac biomarkers and antidiuretic hormone release in distinguishing immersion pulmonary edema from decompression sickness. *Medicine (Baltimore)*. 2016;95:e4060