

# Hundimiento de submarinos y supervivencia

**Antonio Viqueira Caamaño\***

**Emilio Salas Pardo\*\***

**José Julián Arias Garrido\*\*\***

**José Luis García Moreno\*\*\*\***

**Gonzalo Infante Pino\*\*\*\*\***

**José Antonio Artola Yagüe\*\*\*\*\***

## RESUMEN

Se revisan los diversos tipos de hundimiento de submarinos y las lesiones más frecuentes que presentan los supervivientes. Se profundiza en la fisiopatología, manifestaciones clínicas y tratamiento de las lesiones causadas por "escape libre", exponiendo finalmente los sistemas de rescate disponibles en la actualidad.

## SUMMARY

We review the different types of submarine's sinking and the most common damages of survivors. The mechanism of action, symptoms and therapy of injuries by "free escape" are emphasized. Finally, we expose the rescue systems useful at present.

## INTRODUCCION

La tecnología ha dilatado los límites de la fisiología del ser humano y genera por ello una patología que reclama prevención, continua ampliación y actualización de conocimientos e impulsa el desarrollo de nuevas terapéuticas. La catástrofe tecnológica que supone el hundimiento de submarinos (DISSUB) —accidental o en combate— con supervivientes en su interior, ha promovido el estudio de métodos adecuados de rescate que garanticen la supervivencia en condiciones óptimas del mayor número posible de víctimas. Es mundialmente conocido el salvamento de 33 hombres del submarino "Squalus" hundido en 1939 a profundidad

de 73 metros. El hundimiento a 9 metros de profundidad del Submarino E-41 de la Marina Británica, con posibilidad de escape desde el interior, dio lugar al desarrollo de diversos tipos de equipos o trajes (Pulmón de MOMSEM,

el modelo DRAGER o el DSA inglés) (Fig. 1 y 2) bastante complicados y a otros más sencillos (Tipo STEINKE en los S-60 o trajes especiales de escape para los S-70 de la Armada Española) (Fig. 1 y 3). Por razones de doctrina y

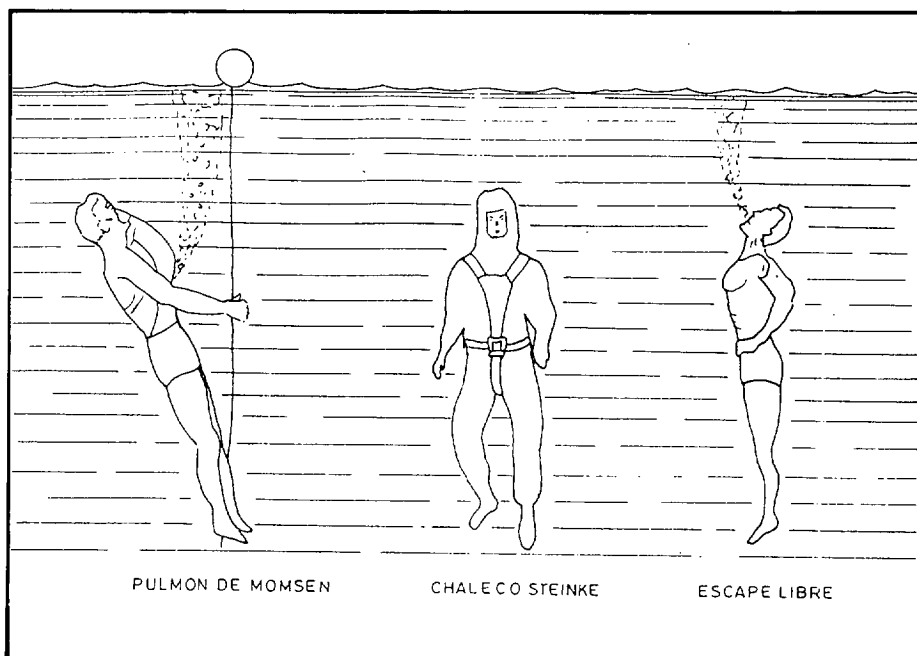


Figura 1.

\* Capitán Médico (Unidad de Investigación Subacuática. Centro de Buceo de la Armada. Cartagena).

\*\* Teniente Médico E.C. (Medicina Subacuática e Hiperbárica. Núcleo de Buceo. Cádiz).

\*\*\* Capitán Médico (Adjunto del Servicio de Medicina Intensiva).

\*\*\*\* Comandante Médico (Jefe del Servicio de Medicina Intensiva).

\*\*\*\*\* Teniente Médico E.C. (Servicio de Medicina Intensiva).

Hospital Naval de la Zona Marítima del Estrecho. San Fernando (Cádiz).

entrenamiento, previsión de enfermedad descompresiva, trastornos otorrinolaringológicos, alteraciones psicológicas, hipotermia, etc..., el escape individual está limitado a profundidades menores de 180 metros. Hundimientos a gran profundidad como el caso del submarino nuclear "USS THRESER" (2.500 m.) con toda su tripulación, condujo a la creación del DSSP (Proyecto de Emergencias Profundas), desarrollándose en 1972 el primer vehículo de rescate profundo (DSRV) (Fig. 4) capaz de efectuar rescates hasta cotas de 1.500 m. bajo el agua. Es evidente que la supervivencia en submarinos hundidos tras siniestros, plantea no pocos problemas técnicos y médicos cuya solución es motivo de investigación constante.



Figura 2. Mod. DRÁGER.

Los supervivientes DISSUB quedan expuestos a graves peligros destacando: la inundación incontrolada del hábitat, la atmósfera tóxica, y, en general, la pérdida de los denominados "Life Support Systems" que son los que en conjunto permiten la vida en espacios confinados.

Mientras llega el apoyo de superficie para preparar un rescate, el tiempo máximo de permanencia dentro del submarino depende de las condiciones medioambientales: temperatura, volu-

men del compartimento, número de supervivientes, presión, medios de control de atmósfera, viveres, etc. Como medida general, los supervivientes deben esperar la llegadas de apoyo desde superficie antes de afrontar los riesgos del escape, aún a baja cota, porque una proporción importante de hombres sufrirá barotrauma pulmonar con embolismo arterial gaseoso (EAG), enfermedad descompresiva (ED), hipotermia, etc... Además, desde superficie se puede intentar la regeneración de la atmósfera viciada del submarino o reponer algunos elementos imprescindibles en su interior. Siempre que sea posible el "rescate" mediante cierto tipo de campanas (Fig. 5) o submarinos especialmente diseñados (DSRV) (Fig. 4 y 6), es lo más aconsejable desde el punto de vista médico.

Cuatro son los supuestos previsibles en un submarino hundido: 1. Submarino seco no presurizado. El método salvador de elección es el rescate. El escape puede intentarse a profundidades menores de 180 m., aunque algunos supervivientes sufrirán EAG. 2. Submarino seco presurizado. El problema inicial es decidir si se hace escape o no. Si la presión en compartimento de escape es superior a 1.5 bar y la profundidad es mayor de 90 m., es probable la presentación de ED al llegar a superficie. A presiones superiores a 1.7 bar, aparecerán cuadros de ED independientemente de la profundidad a que se encuentre el submarino. 3. Submarino inundado no presurizado. Es el caso más probable. El mayor peligro es la hipotermia. 4. Submarino inundado presurizado. Tienen dificultades similares a los secos presurizados, a lo que se añade la hipotermia.

## TIPOS DE HUNDIMIENTO

Medicamente, dentro de un submarino los objetivos básicos son: mantener a su tripulación dentro de parámetros fisiológicos y psicológicos adecuados al hábitat en el que han de vivir permanentemente desde pocos días hasta varios meses, y controlar en los espacios confinados los gases respiratorios ( $O_2$  y  $CO_2$ ) y compuestos químicos, muchos de ellos altamente tóxicos, derivados de actividades propias del submarino ( $CO$ , radiactividad, exposición a metales tóxicos, etc.).



Figura 3. Llegada a superficie tras escape con traje especial desde un submarino de la clase S-70.

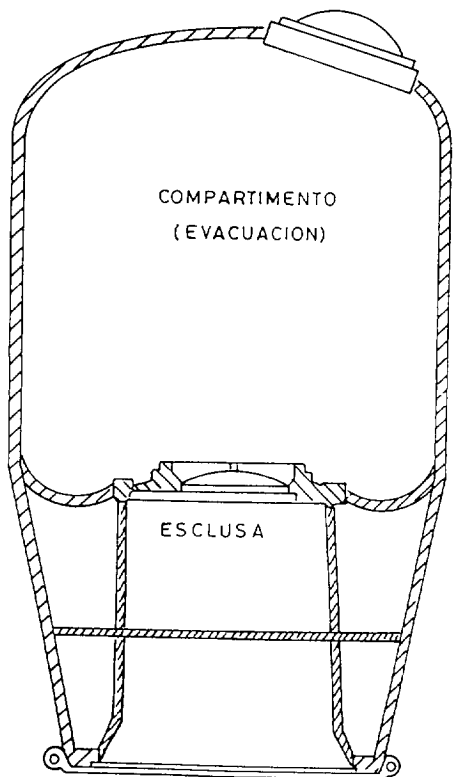
## TIPO DE LESIONES

I. Lesiones derivadas del escape libre: A. Por descompresión (1. Barotraumatismo pulmonar (EAG). 2. Barotraumatismo de otros órganos. 3. Enfermedad descompresiva (ED)). B. Vértigo alternobárico. II. Intoxicaciones por gases tóxicos ( $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$  puro, "aire sucio"). III. Neumonitis por inhalación de Cloro de baterías (en submarinos convencionales). IV. Lesiones por rayos gamma o por inhalación o ingestión de sustancias radiactivas (en submarinos nucleares). V. Lesiones térmicas (hipotermia, golpe de calor) y VI. Politraumatismos y lesiones múltiples comunes a todo tipo de catástrofes.

## FISIOPATOLOGIA Y CLINICA

1. Lesiones derivadas del escape libre (Por descompresión): 1. Barotrauma-

tismo pulmonar (aeroembolismo, embolia arterial gaseosa o embolia de aire traumática). Fisiopatología: se produce por la expansión de los gases pulmonares (Ley de Boyle-Mariotte) durante el ascenso a través del agua desde el submarino a superficie. Cuando desde el interior del submarino siniestrado (a presión atmosférica) se sale al exterior, el organismo queda sometido a la presión de la columna de agua que le rodea. Si el individuo no va expulsando el aire de sus pulmones a más velocidad de la que asciende, se produce una sobrepresión pulmonar que excede de un gradiente determinado (60-80 mmHg), sobrepasando el límite de elasticidad y distensión pulmonar. Las burbujas de aire comprimido expandidas, no se evacuan por la vía respiratoria y lo hacen de forma explosiva con estallido del tejido pulmonar e invasión de las venas pulmonares. El gas es vehiculado hasta el corazón y desde allí distribuido a través de la circulación arterial sistémica a todo el organismo, originando embolias gaseosas en vasos cerebrales, coronarios, pulmonares, etc. Estas burbujas intravasculares, cuyo diámetro puede oscilar entre los 30 a los 2 mm., ocasionan una obstrucción



CAMPANA McCANN ERICKSON

Figura 4.

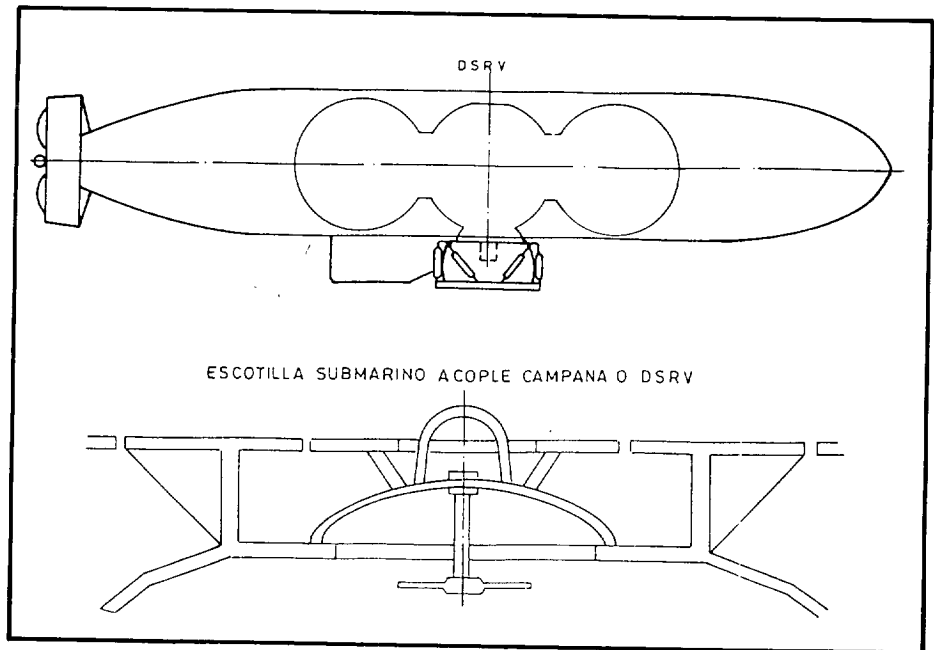


Figura 5.

vascular seguida de infarto de la zona, causando desde muerte súbita a lesiones neurológicas irreversibles. Clínica: los signos y síntomas aparecen a los pocos segundos de alcanzar la superficie. Como norma general, toda pérdida de conocimiento dentro de los 5 minutos siguientes tras alcanzar la superficie, es sospechosa de cuadro de EAG. Otros síntomas son: parestias, parestias, convulsiones, vértigos, dolor angoroso e incluso, muerte por infarto de miocardio y parálisis de miembros (principalmente inferiores), dependiendo de la localización de la embolia gaseosa. En el ECG pueden hallarse signos de isquemia y lesión de miocardio, arritmias e insuficiencia cardiaca. En ocasiones se encuentran aplanamientos de las ondas electroencefalo-

gráficas. Los barotraumatismos pulmonares de ascenso (burst lung) tienen fundamentalmente tres formas clínicas de presentación: 1. Estallido pulmonar: el individuo llega a superficie y comienza con un cuadro de disnea, tos y hemoptisis y, si existe una destrucción alveolar masiva, incluso puede morir. 2. Enfisema: después de la rotura alveolar, el aire puede alojarse en el tejido subcutáneo (muy frecuentemente en la base del cuello) o en la región mediastínica. Se manifiesta por un cambio en el tono de la voz, sensación de ocupación a nivel del cuello, disnea, disfagia y discomfort retroesternal. A la palpación se aprecia una crepitación característica. 3. Pneumotorax: si durante el ascenso, hay rotura de la pleura visceral y el aire penetra en la cavidad pleural, se

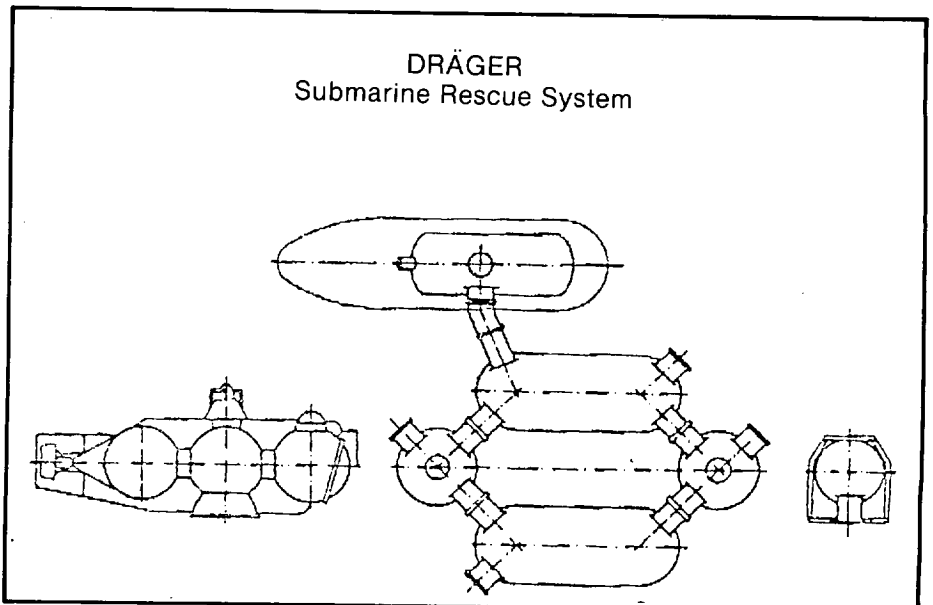


Figura 6.

expande originando un súbito dolor pleurítico con disnea taquipneica, disminución de los ruidos cardiacos en el lado afecto y signos de shock. La EAG aparece más frecuentemente en los casos en que se evidencia un enfisema mediastínico que en los que cursan con neumotorax. Todos los cuadros de barotraumatismos pulmonares anteriormente referidos, deberán confirmarse radiológicamente siempre que sea posible. 2. Barotraumatismos de otros órganos. Tipos: 1. B. de afectación ORL: los barotraumatismos del oído externo se originan durante el ascenso, al producirse un bloqueo del conducto auditivo externo, casi siempre debido a tapones de cerumen. Esto da lugar a que se produzca una presión positiva con respecto al oído medio y la presión ambiente. Se manifiesta con otalgia, congestión, hemorragia y rotura del tímpano por abombamiento hacia fuera. 2. B. dentales: se producen por la existencia de piezas dentales cariadas, donde se aloja aire, o bien, en reparaciones dentales defectuosas de caries donde queda aire retenido. Durante el ascenso, al disminuir la presión, el aire se expande produciendo la compresión de las fibras nerviosas dentales. En otros casos si la expansión es muy brusca, puede llegar a producir la rotura de la pieza dentaria. Se manifiesta por un dolor agudo en la zona afectada (barodontalgia). 3. B. gastrointestinal: el aire contenido en las vísceras huecas, principalmente estómago e intestinos, durante el ascenso e inevitable expansión aérea, puede llegar a producir molestias que se manifiestan por eructos, disconfort abdominal e incluso dolor cólico. Aunque extremadamente raro, hay recogido en la literatura algún caso de perforación de estos órganos por estallido, en casos de ascenso rápido y expansión aérea violenta, cuando la mucosa estaba previamente afectada (ulcus). 3. Enfermedad descompresiva: se debe a la formación de burbujas de nitrógeno o de otros gases inertes, que se disolvieron en los tejidos corporales durante el tiempo pasado en la profundidad. Además de los efectos mecánicos de las burbujas se producen complejos cambios bioquímicos en la membrana alveolocapilar que actúa de filtro. Se describen dos formas: Tipo I (leve): dolores articulares y otras manifestaciones menores. Tipo II (grave): afectación del SNC y/o aparato cardiovascular y respiratorio. En la tercera parte de los casos se dan los dos tipos de lesiones simultáneamente. Las manifestaciones

menores suelen preceder a las mayores, esto posibilita que el médico inexperto pueda tratar al paciente incorrectamente, aplazando una terapéutica más enérgica e indicada. Se consideran síntomas menores: dolores alrededor de las sinoviales articulares, erupciones de la piel de aspecto macular o de éstasis vascular con zonas centrales de cianosis en tronco, edema subcutáneo, sobre todo de miembros, malestar y anorexia. Estos síntomas tardan en aliviarse. A veces, la aparición de los síntomas se retrasa hasta 36 h., no es lo frecuente pero debe tenerse en cuenta esta presentación tardía. Son manifestaciones graves: paraplejía, dolores en cinturón, monoparesias, vértigo con náuseas y vómitos, marcha tambaleante, visión borrosa y otros defectos visuales, jaquecas y alteraciones mentales. Puede haber disnea, dolor retroesternal a la inspiración profunda (patognomónico) y posteriormente taquipnea superficial con hipoxia. También se produce hipotensión postural por pérdida de fluidos vasculares por aumento de la permeabilidad capilar e incluso puede haber hemoconcentración acompañada de hipovolemia. B. Vértigo alternobárico: es una manifestación otorrinolaringológica que aparece durante el ascenso. No tiene un origen barotraumático sino que se produce por un desequilibrio de presiones entre ambos oídos medios, con lo que la presión mayor en un oído que en otro estimula desigualmente el órgano vestibular. Puede llegar a producir desorientación espacial, náuseas y vómitos que conducen al ahogamiento del individuo.

Exceptuando la neumonitis por inhalación de cloro de baterías y las lesiones por radiación, más raras y de mecanismo de lesión más conocido que las lesiones por escape libre, el resto de las lesiones posibles son comunes a otros naufragios de buques de superficie u otras situaciones de catástrofe. Aunque algunas de ellas, como las lesiones causadas por hipotermia, lleguen a adquirir singular relevancia en el hundimiento de submarinos. El desarrollo de su fisiopatología y manifestaciones clínicas rebasaría los objetivos de este trabajo y ha sido objeto de otras muchas publicaciones.

#### CLASIFICACION DE SUPERVIVIENTES

Extrema urgencia: los casos de EAG y ED grave. Descartada la existencia de lesión traumática, es inexcusable que todos los rescatados inconscientes o que hayan perdido el conocimiento a los pocos minutos de llegar a superficie necesitan tratamiento inmediato por

recompresión. En los casos de hipotermia, la prioridad del tratamiento es secundaria al tratamiento de los enfermos graves por descompresión. El recalentamiento debe comenzar inmediatamente, si es necesario, en la misma cámara de recompresión. Otro tanto ocurre en los casos en que se asocian lesiones por radiación. La recompresión urgente no se retrasará por la contaminación radiactiva, ya que no implica peligro inmediato ni para el paciente ni para quien le atiende; después se procederá a la realización de cualquier técnica recomendada para la descontaminación por radiactividad.

Segunda y tercera urgencia: se considerarán los barotraumatismos no pulmonares y la ED leve, dependiendo de sus manifestaciones y evolución.

#### APOYO Y TRATAMIENTO DE LOS SUPERVIVIENTES

Control de atmósfera: 1. Reposo. El consumo de O<sub>2</sub> y la producción de CO<sub>2</sub> se pueden reducir significativamente mediante el reposo. Investigaciones recientes han demostrado que en reposo pueden alcanzarse valores de consumo de O<sub>2</sub> de 18,7 litros/hora/hombre y de producción de CO<sub>2</sub> de 17 litros/hora/hombre. 2. Mantener nivel adecuado de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y CO en el interior del submarino. El control de la atmósfera es preciso para prevenir los cuadros de intoxicación por CO<sub>2</sub>, hipoxia e hiperoxia. El nivel de O<sub>2</sub> debería mantenerse sobre 0,17 bar y el de CO<sub>2</sub> por debajo de 0,025 bar. El máximo nivel de deterioro permisible antes del escape es de 0,14 bar para el O<sub>2</sub> ó 0,05 bar para el CO<sub>2</sub>. Los niveles de CO deben monitorizarse y corregir la concentración de acuerdo a la presión. Su efecto es inversamente proporcional a la pO<sub>2</sub> y directamente proporcional al tiempo de exposición, por lo que algunos países utilizan la denominada "Concentración efectiva de CO ppm": 
$$\frac{0.2}{pO_2 \text{ bar}} \times \text{medida CO}$$
 ppm (valor normal a 1.0 bar, de 200 ppm).

Nutrición: las necesidades mínimas estimadas en los compartimentos de escape serían: Agua: 0,5 litros/hombre/día, Glucosa: 400 Kcal/hombre/día.

Combatir la hipotermia: además de los efectos "per se", la hipotermia puede alterar los valores de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y pérdida de agua, debe por tanto prevenirse mediante la adecuada protección térmica.

Si hubo "escapes libres" es de esperar una alta incidencia de EAG y, tras varias horas de estancia dentro de submarinos siniestrados y presurizados a presiones superiores a 1,7 bar, posi-

blemente presenten además ED. Por ello, es necesario prever los medios adecuados de tratamiento, sobre todo la terapéutica de recompresión, y los medios de evacuación. Se alertarán cámaras hiperbáricas y helicópteros.

Como se mencionó anteriormente, se considera prioritario el tratamiento de la EAG y de los casos severos de ED (tipo II). Inmediatamente se iniciará la recompresión del accidentado en cámara hiperbárica, a ser posible multiplaza, recomprimiéndolo hasta una presión de 6 ATA (equivalente a 50 metros de profundidad). De este modo conseguimos rápidamente reducir la aeroembolia hasta 1/6 de su volumen con la consiguiente permeabilización del vaso donde se alojaba la burbuja, impidiendo la isquemia que estaba provocando y consiguiendo desplazarla hasta vasos de diámetro menor. Una vez reducido el diámetro de la burbuja de aire, su disipación y absorción se aceleran significativamente. En el caso de la ED, las burbujas de nitrógeno intra y extravasculares disminuirán su tamaño hasta diluirse con desaparición inmediata de los síntomas. El tratamiento recompresivo se hará siguiendo las tablas que al efecto existen en la actualidad (España emplea las de la U.S. Navy). Se recomienda usar preferentemente las tablas de O<sub>2</sub> a las de aire. Antes y durante la recompresión pueden ser necesarias técnicas de resucitación cardiopulmonar. Se administrarán corticoides para tratar el edema cerebral por vía parenteral. Durante el traslado a la cámara hiperbárica el paciente estará en decúbito lateral izquierdo, con la cabeza más baja que los pies (30°), administrándose O<sub>2</sub> al 100% mediante mascarilla oronasal. La evacuación se efectuará, siempre que sea posible, bajo presión en cámara hiperbárica monoplaça ("cartucho") o biplaza (con personal sanitario), utilizándose siempre el medio más rápido y hacia un centro sanitario que cuente con una cámara hiperbárica multiplaza donde se le administrará el tratamiento definitivo. Si la evacuación no se realiza bajo presión y se lleva a cabo por vía aérea, el helicóptero no debe sobrepasar la cota de los 300 metros o si se emplea el avión, debe ser presurizado con presión en cabina equivalente a la del nivel del mar ("Lear jet"). Si se evacua por carretera, se debe hacer lo más próximo posible a la costa y evitando los puertos de montaña. Estas precauciones se deben a que todo incremento

de la altitud durante la evacuación supone un aumento en el diámetro y volumen de las burbujas. Aún disponiendo de los recursos anteriormente expuestos, el mejor tratamiento del aeroembolismo es la prevención. Para ello, el individuo debe ascender expulsando el aire continuamente, por lo que no cerrará la boca en ningún momento y subirá más despacio que la burbuja que expulsa. Es pues fundamental el entrenamiento previo en los tanques de "escape libre" para las dotaciones de submarinos.

En el caso de otros barotraumatismos pulmonares, si sólo hay lesión del parénquima pulmonar se mantendrá una ventilación del 100% de O<sub>2</sub>, medidas de apoyo del sistema cardiovascular y de mantenimiento del equilibrio hidroelectrolítico. El tratamiento del enfisema dependerá de los síntomas. En pacientes asintomáticos bastará con vigilancia y descanso. Si se acompaña de sintomatología moderada se administrará O<sub>2</sub> al 100% mediante mascarilla oronasal. En casos severos se realizará recompresión en cámara hiperbárica y aplicaremos una tabla 5, 6 ó 6A dependiendo del caso. En cualquier caso y ante la duda, efectuar tratamiento recompresivo. El neumotorax se tratará primero con evacuación del aire coleccionado mediante tubo de tórax y drenaje, y posteriormente recompresión en cámara hiperbárica y aplicación de una tabla de tratamiento (preferiblemente de O<sub>2</sub>). Es fundamental señalar que un individuo con neumotórax puede ser tratado en cámara hiperbárica sin efectuar evacuación previa del aire, pero jamás se podrá llevar a cabo la descompresión sin drenar ese aire. Si no cuando la descompresión tenga lugar se producirá una expansión del aire retenido convirtiéndose en un neumotórax a tensión que requerirá toracocentesis inmediata.

El barotraumatismo del oído se tratará con analgésicos y antibióticos por vía general, reservando el tratamiento quirúrgico para aquellos casos de perforación timpánica que no responden bien a la medicación.

La expansión del aire contenido en los senos paranasales obstruidos por

una mucosa inflamada o por formaciones polipoideas o quísticas, produce una sintomatología caracterizada por sensación de ocupación de senos, parestesias en el territorio del nervio infraorbitario, dolor intenso y epistaxis. Se tratará con analgésicos y vasoconstrictores por vía general y local.

El tratamiento de los barotraumatismos dentales consistirá en analgésicos y reparación si procede.

El vértigo alternobárico es de corta duración y raramente necesita tratarse. En casos graves está indicado el reposo en cama y el tratamiento sintomático.

La clínica de ED leve (tipo I) y la patología menor de la ED Tipo II, puede esperar si no hay bastantes cámaras disponibles hasta 2 horas, aunque deben administrarse O<sub>2</sub>, normobárico, fluidos y corticoterapia.

Los pacientes intoxicados, con lesiones térmicas o politraumatizados, etc., recibirán tratamiento específico, y siempre que no presenten EAG se evacuarán a los centros sanitarios más cercanos.

## SISTEMAS DE RESCATE

Los tipos varían según los países, pero podrían dividirse en conjunto en: Campanas de rescate tipo MC CANNERICKSON y los submarinos de rescate.

Las Campanas de Rescate como la ASR de la US Navy (Fig. 5) pueden soportar presiones cercanas a 300 metros, son transportables en barcos de rescate hasta el lugar del siniestro y trabajan a presión atmosférica. En condiciones normales pueden transportar hasta 6 "rescatados" y 2 operadores en cada viaje al submarino.

Los Vehículos submarinos de Rescate Profundo, como el DSRV de la US Navy (Fig. 6) están diseñados para intervenciones rápidas en todo el mundo. Son capaces de alcanzar elevadas profundidades (más allá de la cota de colapso del submarino), se acoplan aún en ángulos de vela muy acusados y transportan, además de la dotación, varias docenas de "rescatados". Por su peso y dimensiones necesita transportarse en aviones C-141 ó C-54, o bien, sobre submarinos nodriza especialmente equipados (MS).

## BIBLIOGRAFIA

- 1.— US NAVY DIVING MANUAL. Navy Department. Washington 1985.
- 2.— Naval Medicine Manual (NATO). Underwater Medicine and Diving Accidents. 7:11-14. 1988.
- 3.— Escape and rescue. In: The Physician's Guide to Diving Medicine. Shilling, W.C., Ed. Plenum Press, N.Y., 1984.
- 4.— RICHARD, H., Strauss. Diving Medicine. Grune and Statton, Inc. Orlando (Florida), p: 13-18, 56-59, 122-127, 1976.
- 5.— BERNARD, T. Médecine de la Plongée. Ed. Masson, Paris, p: 68-78, 1982.
- 6.— GALLAR, F. Medicina Subacuática e Hiperbárica. ISMAR, Madrid, p: 223-236, 311-327, 1987.
- 7.— BENNET, P.B.; ELLIOT, D.H.: The Physiology and Medicine of Diving. Ed. Baillière-Tindall. Londres, p: 507-537, 1982.
- 8.— GALLAND, F.M.; CORITOU, B.: Evolution clinique d'une surpression pulmonaire après plongée en mer à 5 mètres. Med. Sub. Hyp. 6 (2): 51-55, 1987.
- 9.— IRELAND, A. et al.: Treatment of air embolism with hyperbaric oxygen. British Med. Journal 291:77, 1985.