

**EL TRABAJO SUBMARINO.
DATOS HISTORICOS. EQUIPO MODERNO.
FISIOLOGIA Y ACCIDENTES DEL BUCEO.**

— *Dr. Roberto Soto Montero.*

Director del Instituto de Medicina del Trabajo
e Higiene Industrial de la Universidad del Zulia.

I — DATOS HISTORICOS

Las referencias más antiguas que tenemos sobre el buceo datan de lo escrito en la *Ilíada*, en la cual se hace mención de la práctica de sumersión, cuando Patroclus compara la caída de los carros de los guerreros de Héctor a los buzos que se sumergen en busca de ostras.

Tucidides menciona el empleo de buzos (antiguos hombres ranas) en el sitio de Siracusa, los cuales tenían como objetivo destruir las barreras de madera que habían sido construidas bajo la superficie del mar, y que fueron erigidas con el propósito de obstruir el paso y dañar los barcos griegos que pudieran intentar su incursión al puerto. En el sitio de Tiro, Alejandro el Grande empleó guerreros buzos para destruir las defensas submarinas erigidas por los sitiados. En el reino de Perseo, tesoros considerables fueron recobrados del mar empleando buzos; y es interesante hacer notar que, según la ley de Rodas, a los hombres que se dedicaban a la sumersión submarina se les permitía retener una proporción de los valores o tesoros recobrados.

En lo que se refiere a los primeros usos de aparatos de sumersión, Aristóteles menciona que, ocasionalmente, los buzos estaban provistos de instrumentos especiales, los cuales les permitían obtener aire directamente de la superficie, y además escribe sobre la utilización de buques metálicos que eran sumergidos y permanecían impermeables. Es interesante mencionar el hecho de que Alejandro el Grande practicó la sumersión con una máquina llamada *Colinfa*, la cual era impermeable, y más aún, permitía la visión. Plinio apunta y describe tácticas de guerreros submarinos, los cuales utilizaban un tubo que por un extremo se aplicaba a la boca y el otro se mantenía en la superficie fuera del agua. Se cree que en el año 1240, Bacon inventó un aparato con miras de facilitar el trabajo submarino. En el libro *De Re Militari* (edición del año 1511

y 1532), aparece un dibujo de un buzo, el cual utilizaba un casco impermeable y con una especie de tubo largo de cuero que se mantenía en la superficie del agua por medio de una bolsa inflada de aire.

Desde el año 1617 hasta fines de 1700 un número considerable de investigadores ingleses y alemanes pusieron en práctica diferentes tipos de artefactos y vestidos tipo escafandra, con el objeto de hacer factible todo lo relacionado a las actividades submarinas. Fueron muy poco prácticos los resultados obtenidos, y no es hasta el año 1819 que el inglés Augusto Siebe hace el primer intento de construir un traje abierto de sumersión, que luego, en 1830, se modifica, haciéndolo impermeable, y se le añade un casco metálico. A éste se le conectan tubos de goma que proporcionarían el aire a presión. Es éste el primer intento serio y práctico que proporciona al buzo una protección con un margen considerable de seguridad. Las escafandras que actualmente se utilizan, son el producto de las modificaciones de la primera escafandra indicada por Siebe.

II — EQUIPO MODERNO DE BUCEO

En la actualidad se cuenta con numerosos aparatos y equipos que permiten la sumersión. Podemos, sin embargo, clasificarlos en dos grandes grupos muy diferentes; a saber:

A) *Aparatos rígidos de construcción metálica.* — Dentro de éstos puede el hombre respirar aire enviado constantemente desde la superficie y mantenerse a la presión atmosférica normal. Por sus formas y objeto de utilización los podemos subdividir en:

- 1.º Escafandras metálicas, articuladas o no.
- 2.º Batiesferas. Aparatos que se pueden utilizar en enormes profundidades; siendo la más grande la efectuada por Bastón en el año 1949, cuando alcanzó la profundidad máxima de 1.371 metros.
- 3.º Las batiescafafas, de forma cilíndrica, cuyo prototipo fue la utilizada por Picard, que ha obtenido profundidades máximas de 4.050 metros.
- 4.º Los submarinos, los cuales se diferencian de los aparatos anteriores en que pueden desplazarse y no necesitan contacto directo con la superficie.

B) *Equipo y vestidos flexibles.* — Son aparatos hechos de material impermeable y permiten el desplazamiento del buzo más o menos fácilmente. Entre ellos distinguimos dos tipos principales, que son:

- 1.º La escafandra con casco. La cual puede subdividirse en dos tipos, que se diferencian marcadamente uno del otro. El primero es la escafandra con casco independiente al vestido, y el otro es el tipo de escafandra flexible, la cual, en su parte superior, está adosada al casco; es decir, el casco y el vestido forman una sola cámara. Este último tipo permite el desplazamiento del buzo a posiciones diferentes con respecto a la superficie del suelo.

2.º El aparato llamado «pulmón acuático». Es relativamente de invención reciente y permite al buzo desplazarse libremente durante la sumersión, pues lleva a sus espaldas cilindros que le proporcionan el gas que necesita por un tiempo determinado; como aire, oxígeno, helio, hidrógeno, etc. Estos aparatos, también llamados por los americanos «Acua-lung», pueden ser de dos tipos diferentes. Los unos, de circuito abierto, y los otros, de circuito cerrado; es decir, que el hombre puede respirar de los cilindros y expulsar el aire de la espiración hacia una bolsa de goma, la cual, a su entrada, está provista de un dispositivo relleno con sales alcalinas que absorben el CO_2 de la respiración, y el aire almacenado en la bolsa de goma puede ser nuevamente inspirado. Este aparato tiene varias ventajas y desventajas.

Las ventajas son: 1), permite una sumersión prolongada; 2), militarmente puede utilizarse para excursiones secretas, debido a que no existen burbujas deladoras.

Las desventajas son: 1), que, paradójicamente, puede causar anoxia si el buzo, por cualquier circunstancia, no regula con exactitud el sistema de espiración e inspiración; 2), puede haber peligro de intoxicación por oxígeno.

La clasificación anterior, como ven ustedes, es amplia, y, por consiguiente, de acuerdo con el equipo utilizado, tiene el buzo o sus asistentes que poner en práctica técnicas diferentes. Cada uno de los sistemas enumerados arriba puede acarrear accidentes propios, y, por tanto, los tratamientos difieren uno del otro. Sobre este aspecto hablaremos en detalle más adelante.

Accesorios usados en los aparatos tipo «pulmón acuático». — Los accesorios principales utilizados en la sumersión en la cual se vale el hombre del «pulmón acuático», son los siguientes:

1.º *Máscaras y anteojos.* Las máscaras, provistas de anteojos de cristal o material transparente apropiado, sirven para facilitar la visión binocular a través de un cristal único con un campo de visión suficiente. Permiten una compensación de la presión. Durante la inmersión, la presión sobre el globo ocular puede dañar la conjuntiva, produciendo trastornos de la visión y deformación del mismo. Los pescadores japoneses utilizan para su trabajo anteojos provistos en cada lado de pequeños globos llenos de aire, que en esta forma compensan perfectamente la compresión.

2.º *Las aletas,* que, calzadas sobre el pie, o bien formando parte del vestido del buzo, constituyen el medio de propulsión del mismo.

3.º *Manómetros.* Se utilizan frecuentemente con el objeto de que el buzo se pueda controlar. De estos tipos de manómetros hay un buen número de diferentes procedencias y sistemas.

4.º *Vestido de protección.* Los vestidos de protección se utilizan con el propósito de ampararse contra el frío, y también para evitar las heridas cutáneas, cuando accidentalmente el buzo se pone en contacto con superficies cortantes o

punzantes. Los hay de diferentes espesores y materiales. Los más utilizados son aquellos fabricados de material plástico combinados con caucho. Los buzos que utilizan los aparatos de «pulmón acuático» van vestidos solamente con un traje de baño.

III — FISILOGIA Y ACCIDENTES DEL BUCEO

Datos históricos. — El primer fisiólogo que investigó e hizo trabajos fundamentales sobre la fisiología del buceo fue el francés Paul Bert (1833-1886). A partir de los trabajos de Bert, se formó en Inglaterra «la Comisión de buceo en aguas profundas», patrocinada por el Almirantazgo inglés, quien nombró director al célebre fisiólogo J. S. Haldane. Haldane elaboró las primeras tablas de descompresión, las cuales tenían por objeto evitar los accidentes por este motivo. Estas tablas fueron adoptadas por la Marina Británica y tuvieron un éxito considerable. Como dato interesante mencionaremos el hecho de que Haldane murió sin haber dejado escrito el método o sistema que él utilizó para la elaboración de dichas tablas.

Los ingleses continuaron hasta el año 1939 siendo los líderes del buceo. Durante la última guerra mundial se hicieron en Inglaterra importantísimas investigaciones sobre la intoxicación por oxígeno bajo presión.

En los Estados Unidos, a partir del año 1925, se iniciaron las investigaciones sobre el buceo, utilizando las combinaciones de helio con oxígeno a una proporción de 80 por 100 de helio y 20 por 100 de oxígeno. Esto trajo como consecuencia una modificación de las tablas de ascenso utilizadas en los Estados Unidos.

La Marina Norteamericana ha estado utilizando las combinaciones de helio-oxígeno en sumersiones de más de 60 metros. En Suecia se han venido utilizando las combinaciones de hidrógeno-oxígeno.

Las primeras tablas o métodos de descompresión fueron elaboradas y utilizadas rutinariamente en Inglaterra. Estas tablas tenían como objeto la disminución de los accidentes por descompresión.

Clasificación de accidentes. — Los accidentes debidos al buceo son los siguientes:

- 1.º Los accidentes de descompresión o enfermedad descompresiva.
- 2.º Accidentes de los oídos y senos frontales y maxilares.
- 3.º Aplastamiento.
- 4.º La salida a la superficie en forma de balón.
- 5.º La hiperpresión pulmonar.
- 6.º Los cólicos de los buzos.
- 7.º La intoxicación por el oxígeno.
- 8.º La intoxicación por el CO₂.

9.º El ahogo.

10. La embriaguez de las profundidades.

El peligro más frecuente a que están sometidos los buzos se denomina *enfermedad descompresiva*. Esta enfermedad tiene como causa las burbujas de gas que se forman en la sangre cuando la presión disminuye bruscamente; estas burbujas están químicamente compuestas en su mayor parte de nitrógeno y son las responsables de una serie de síntomas de la enfermedad arriba nombrada. A medida que el organismo es sometido a hiperpresión, el gas de la respiración tiende a disolverse en los tejidos y fluidos orgánicos, siendo el nitrógeno el que satura en su mayor parte estos tejidos. Si después de haber pasado al organismo una cantidad apreciable de nitrógeno ocurre la descompresión brusca, el nitrógeno entra en verdadera efervescencia, comparable al fenómeno que ocurre cuando se destapa rápidamente una botella de soda. Ahora bien, si la descompresión se efectúa en forma paulatina y ordenada, el nitrógeno pasa lentamente a la sangre y es espirado por los pulmones sin causar trastorno alguno. Estos son en síntesis los fenómenos causales de la enfermedad descompresiva.

También hay un buen número de accidentes debido al buceo, que nada tienen que ver con la formación de burbujas de nitrógeno en los tejidos:

Accidentes de los oídos y senos frontales y maxilares. — Como prácticamente hemos podido notar todos los aquí presentes, los cambios de presión brusca son inmediatamente captados por los oídos. Un ejemplo lo tenemos durante los ascensos y descensos cuando viajamos por avión, a pesar de que los pilotos comerciales tienen generalmente mucho cuidado en estas maniobras y las hacen en forma paulatina. Ahora bien, cuando un buzo es sumergido bruscamente y existe un obstáculo en la comunicación de las trompas de Eustaquio con los órganos respiratorios superiores, la presión distiende el tímpano en forma violenta y puede acarrear la ruptura del mismo con todas sus consecuencias.

Igualmente sucede cuando los senos tienen su comunicación obstruida, produciéndose entonces dolores agudos de los mismos. Al efecto, los buceadores de perlas y esponjas, los cuales se sumergen rápidamente a profundidades de 30 metros o más, sufren en su mayoría de otitis crónicas, y, con el tiempo, sordera.

Aplastamiento. — O lo que los anglosajones llaman «Squeeze», es el accidente típico de los buzos con escafandra y casco. Las consecuencias son generalmente mortales, y es ocasionado por una depresión en el interior del casco. Esta depresión se puede producir de dos modos diferentes: 1), el descenso demasiado rápido, el cual constituye el caso más frecuente; y 2), trastornos de la alimentación del aire por avería de la bomba o por el tubo de vida. Por la di-

ferencia de presiones entre el casco y el vestido, parte del cuerpo es forzado bruscamente hacia el casco. Efectos y síntomas: los pulmones se vacían de aire, la sangre es aspirada hacia la cabeza con congestión de vasos y ruptura de éstos. El cuerpo se encuentra parcialmente metido dentro del casco. Una descompresión de 300 gramos por centímetro cúbico es suficiente para determinar ligeramente este accidente, lo cual puede traer como consecuencia la ruptura de los capilares pulmonares, sufusión sanguínea y hasta la asfixia. Las descompresiones más grandes presentan un cuadro extremadamente grave: aplastamiento del tórax contra el cuello del casco, fracturas de costillas, clavículas y hasta fractura de las vértebras cervicales.

Subida a la superficie en forma de globo («Blow-up»). — Este accidente consiste en el ascenso rápido e incontrolable, debido a la presencia de aire excesivo en el vestido del buzo. Las causas de estos accidentes son debidas a falsas maniobras por parte del buzo, movimientos que traen consigo que la cabeza esté colocada hacia abajo y una alimentación excesiva de aire por parte de la bomba o del compresor. Este accidente puede traer como resultado una descompresión rápida y peligrosa con todas sus consecuencias.

Hiperpresión pulmonar. — Si el buzo que se encuentra sumergido a una profundidad considerable (30 ó 40 metros o más) hace una inspiración y retiene aire en los pulmones y luego empieza el ascenso, la presión exterior disminuye y el aire aprisionado en los pulmones los dilata más allá del límite de su elasticidad, pudiendo producirse ruptura de los alvéolos pulmonares. Afortunadamente este accidente es raro y su tratamiento consiste en la recompresión inmediata.

Cólicos abdominales de los buzos. — Al encontrarse en la superficie el buzo puede en algunos casos quejarse de violentos dolores abdominales que pueden en ciertos casos llevarle al síncope. Este accidente se debe a la distensión de una parte del tubo digestivo por un volumen de gas aprisionado. El tratamiento consiste en la recompresión inmediata.

Intoxicación por oxígeno. — Es sabido desde el año 1878, cuando Paul Bert demostró que el oxígeno es tóxico para la materia viviente y especialmente para el hombre. Actualmente se llevan a cabo interesantes investigaciones en el Instituto de Fisiología de la Marina Británica, donde tratan de precisar la causa de la intoxicación por oxígeno. Iguales investigaciones se llevan a cabo en otras partes del mundo.

El oxígeno puede producir dos efectos diferentes:

1.º Respirar oxígeno a presiones poco elevadas, por un tiempo largo, ocasiona lesiones inflamatorias de las vías respiratorias. Esto se conoce como el efecto de Lorrain-Smith.

2.º A presiones superiores a 1,7 kilogramos por cm^2 , el oxígeno se comporta como un tóxico general. El sistema nervioso central es el primero en

ser tocado, dando como resultado fenómenos convulsivos, con pérdida de la conciencia, hasta llegar a la muerte. Este es el efecto de Paul Bert.

Los accidentes de este tipo pueden iniciarse a partir de una profundidad de siete metros, y, por tanto, hay que tener especial cuidado con los buzos que utilizan este gas con nitrógeno, helio o hidrógeno. Los síntomas son: vértigos, náuseas, palidez de la cara, hasta llegar a una crisis convulsiva parecida a un ataque epiléptico.

El tratamiento consiste en hacer respirar al accidentado aire ambiental.

Intoxicación por gas carbónico. — La causa de este accidente es generalmente la inspiración del gas carbónico producido por el organismo. En el aire espirado hay una concentración media de aproximadamente un 4 por 100 de gas carbónico, y en la composición del aire hay una concentración de 0,03 por 100. Los síntomas producidos por el gas carbónico a una presión parcial de 70 gramos por cm^2 son los siguientes: respiración anhelante, congestión de la cara o sudoración profusa, y puede producirse un estado de excitación que se instala progresivamente y se puede asemejar a la borrachera.

La causa de esta intoxicación en el buzo proviene de la acumulación en el casco del gas carbónico y su reinspiración. Así, pues, todo depende de una evacuación apropiada del aire viciado por las válvulas que a este propósito se encuentran en los cascos de los buzos. Ahora bien, en los aparatos de «pulmón acuático» sólo se podría presentar este fenómeno en los aparatos de circuito cerrado.

Ahogamiento. — El ahogamiento de un buzo puede sobrevenir simplemente debido a la sumersión brusca, no estando el casco bien adosado a la escafandra, o bien por ruptura accidental de una de las ventanillas de observación. Estos son casos raros.

El buzo que utiliza los aparatos de «pulmón acuático» está expuesto a este tipo de accidente, debido a que no tiene protección alguna, y, accidentalmente, puede salirse la pieza bucal o sufrir la ruptura de los tubos de goma que le suministran el aire que sale de los cilindros. Es mucho más desafortunado cuando, por un descuido, se le agota el aire en profundidades que no le permiten salir ileso a la superficie.

Podemos clasificar teóricamente este accidente en la ahogada blanca y la ahogada azul, que en realidad no corresponde en la práctica a estos casos extremos. La *ahogada blanca* se presenta en un porcentaje de 1 a 2 por 100, y es de un aspecto muy característico. Se trata del paro brusco del corazón, debido a un reflejo en el momento en que el agua se pone en contacto con la mucosa nasal. La respiración cesa inmediatamente, sin fase convulsiva, y por eso el agua no invade los pulmones. El paro de la circulación reduce a un mínimo el consumo de oxígeno y permite una sobrevida un poco mayor a los

centros nerviosos. En este caso la reanimación puede ocurrir después de un tratamiento largo de varias horas.

El caso del *ahogado azul*. Se trata de un ahogado que ha respirado agua; la oportunidad de reanimación en estos casos es muy escasa.

La embriaguez de las grandes profundidades. — Ha sido bien estudiada por el Instituto de Fisiología de la Marina Británica. Durante un descenso, y a partir de una profundidad variable, un individuo puede sentir con el aumento de la presión ciertos síntomas que, agrupados, suelen llamarse «la borrachera de las grandes profundidades». Estos fenómenos aparecen generalmente después de los 30 metros de profundidad.

La sintomatología consiste en la dificultad que tiene el accidentado en correlacionar ideas, y esta deficiencia está unida a estado de euforia, y, aparentemente, en plena posesión de sí mismo; es decir, se puede asemejar a la borrachera alcohólica. A medida que se instala este síndrome, empiezan otros trastornos, como es el agravamiento por la aparición simultánea de una incoordinación motriz y de una hiper-receptibilidad sensorial que conduce a gestos dramáticos e impulsivos. Todo esto puede tener como consecuencia maniobras por parte del buzo, que pueden acarrear accidentes mucho más graves.

Es interesante hacer notar que cuando el individuo que ha sufrido este accidente se remonta a la superficie, parece haber olvidado todo lo sucedido anteriormente.

BIBLIOGRAFIA

- Hunter Donald: «The Diseases of Occupations». The English Universities Press Ltd., London.
Simonin: «La Medicina de Trabajo». Ed. Morata, Barcelona.
Koelsch: «Lehrbuch der Arbeitshygiene». Ed. Enke, Stuttgart.
Goodman and Gilman: «The Pharmacological Basis of Therapeutics». Ed. Mac Millan, New York.
J. Kaplan: «Medicina del Trabajo». Ed. El Ateneo, Buenos Aires.

«Me sorprende que se permita uno medir al genio y que se ose opinar que un gran hombre hubiera sido más grande si hubiera pensado diferente. ¿Sabemos, pues, las fuentes de su superioridad?. A los que venero los acepto en bloque, tal como son, y por materialista que yo sea, no querría que Pasteur no hubiera sido creyente ni que Mendel no hubiera sido sacerdote».

«Solo el historiador de la Ciencia sabe cuántas objeciones debe sufrir la verdad antes de hacerse admitir».

«Por alejado que se encuentre el adversario de nuestro ángulo de verdad, es posible que esté más próximo que nosotros a una verdad que no sospechamos».

«Lo esencial para un sabio es ver claramente dentro de su dominio propio; y poco importa que Pasteur no haya creído en la evolución y que Lamarck haya creído en la generación espontánea».

«Tomad en cuenta a los críticos, aun a los injustos; haced frente a los críticos, aun a los justos».

«Ignoro quiénes son más despreciables, si los que se dejan domesticar por los honores, o los que, para emanciparse, no esperan sino a tenerlos».

J. R.

«El profano admite sin dificultad que, por procedimientos artificiales, se hagan nacer erizos de mar y hasta ranas sin padre, y ni siquiera se digna sorprenderse grandemente por ello; pero se resiste a creer que el método pueda ser aplicado algún día a los «verdaderos» animales y que el ganadero haga nacer becerros sin toro y potros sin garañón. El biólogo, por su parte, no toma en cuenta esas diferencias. El obtiene ya del conejo, por medio de la fecundación química, embriones de varias células; sabe que la distancia, entre estos conejos invisibles y los grandes conejos carnosos de la realidad, es corta, y que puede ser franqueada de un día a otro por un simple progreso de técnica. Tal vez no estemos muy lejos del día en que se harán nacer humanos sin padre. ¿Cómo serían?. Todo conduce a creer que pertenecerían al sexo femenino, y que serían, en todo, semejantes a su madre: algo así como gemelas más jóvenes.

¿Qué nuevos sentimientos inspirarían a su progenitora estos extraños descendientes en los que se sobreviviría por completo, estas hijas integrales, en las que vería renacer su juventud, mientras que en ella, anticipadamente, ellas contemplarían su madurez?. ¿Le gustaría encontrarse en ellas tan fielmente?. ¿No estaría celosa de esas otras «ella misma» que tendrían para sí el porvenir?. Y ellas, por su parte, ¿no le tendrían rencor por no ser sino sus réplicas?

Puede ser que la tentación de hacerse renacer así fuera muy viva; pero ¡cuán grande no sería, en cambio, el escrúpulo de imponer su ser a otro!. No se vacila en crear la vida en la ignorancia; pero, a sabiendas, ¿se atrevería uno a crear una determinada vida?».

J. R.