Por más de un siglo, los investigadores han conocido que la exposición a una alta presión puede dañar o matar. Gradualmente, están empezando a entender los mecanismos subyacentes.

Fisiología de la Descompresión (*)

El helicóptero descendió de un cielo oscuro de madrugada. Rápidamente, uno de sus ocupantes fue trasladado desde la aeronave a nuestra unidad hiperbárica en el centro médico de la Universidad de Duke, en Durham, N. C. El paciente de 42 años, de vacaciones con su amiga, estaba somnoliento y tenía una erupción en el abdomen. Por lo que habíamos oído de su caso, sospechamos que también tenía burbujas de gas en su cerebro.

Siete horas antes, había salido a superficie en la costa de Carolina del Norte sintiéndose perfectamente después de su segundo buceo scuba del día. Cuarenticinco minutos más tarde, desarrolló un dolor de cabeza, se sintió mareado, tenía dificultades para caminar y sentía picazón en el abdomen. Su visión empezó a cerrarse, como lo expresó él, y se sintió con náuseas. Conduciendo de regreso a su hotel, equivocó el camino, se puso incoherente y, por un momento, no reconoció a su amiga.

Después de un examen neurológico, el paciente y una enfermera especialmente entrenada fueron encerrados en una de las cámaras hiperbáricas usadas para tratar esta condición. Fueron presurizados a 2.8 veces la presión atmosférica de la tierra y luego, durante un período de seis horas, descomprimidos en etapas hasta 1 atmósfera, mientras el paciente respiraba oxígeno puro. Este tratamiento es standard para la mayoría de formas de la enfermedad de descompresión, término genérico para los diversos males relacionados con burbujas de gas, sufridos de tiempo en tiempo por buzos, trabajadores en aire comprimido y otros. Al siguiente día, una

(*) De *Scientific American*. Traducido por el vicealmirante (r) Ricardo Zevallos Newton.

imagen de resonancia magnética de la cabeza del paciente fue coincidente con nuestra sospecha acerca de las burbujas: mostró áreas puntuales de exceso de fluido en el cerebro, sugiriendo hinchazón de tejido iniciado por burbujas.

Alrededor de una semana después de la llamada "desorientación visual", y otros síntomas del oído interno que se resolvieron, el buzo se recuperó completamente, como la mayoría de los pacientes que sufren serios problemas de esta clase y son recomprimidos en una cámara. Finalmente, lo que hizo este caso importante para nosotros fue la forma como encajó en las hipótesis que teníamos acerca del rol del corazón en la enfermedad de descompresión. Las teorías clásicas rara vez implicaban este órgano, pero un examen posterior de este buzo mostró que tenía una condición cardíaca conocida como "orificio ovalado patente", un conducto a través del cual las burbujas pueden pasar a la sangre arterial. Una vez en las arterias, las burbujas podrían obstruir el flujo sanguíneo a órganos vitales, particularmente el sistema nervioso central (el cerebro y la espina dorsal).

LEGADO MÉDICO ÚNICO

El tratamiento del vacacionista, y especialmente el descubrimiento de la anomalía en su corazón, fueron en cierto modo típicos de la historia de la enfermedad. En los dos siglos que la gente ha respirado aire comprimido, los investigadores han recopilado -a menudo como resultado de infortunados daños- un considerable registro de cómo responde el cuerpo humano a esfuerzos para los cuales no ha sido diseñado. De la potencia narcótica del nitrógeno a presión y tóxica del oxígeno a presión, hasta los efectos de pérdida de calor y los bizarros síntomas de presión en el sistema nervioso central, el buceo ha creado un rico y único cuerpo de conocimientos médicos.

De todas estas afecciones, la más común y todavía imperfectamente entendida, es la enfermedad de la descompresión. La causa subyacente, burbujas en la sangre o tejido, fue establecida en 1877, y la enfermedad ha sido estudiada intensamente desde entonces. Las burbujas de gas fueron implicadas por primera vez en la enfermedad por el médico francés Paul Bert. Él probó que las burbujas estaban compuestas de nitrógeno; como el oxígeno es metabolizado por las células de los tejidos, usualmente no es un problema durante la descompresión.

Lo que hizo posible atender la enfermedad fue la invención del compresor de aire y, subsecuentemente, en 1841, una cámara presurizada usada típicamente durante la construcción de túneles y cimiento de puentes debajo de los ríos. Los trabajadores debían entrar al cajón a través de un seguro de aire y trabajar en 1 atmósfera de aire comprimido que evitara la inundación. Posteriormente, cuando los trabajadores eran descomprimidos a 1 atmósfera, a menudo desarrollaban

dolores a las articulaciones y ocasionalmente problemas más serios: adormecimiento, parálisis, pérdida de control de los esfínteres y aun la muerte.

Fue en el puente de San Luis, construido a principios de la década de 1870, que la enfermedad de la descompresión recibió su nombre familiar de "bends". Trabajadores con la enfermedad de la descompresión a veces caminaban con una ligera inclinación, una postura adoptada en ese tiempo por las mujeres elegantes y conocida como la "reverencia griega". En total, alrededor de 600 hombres trabajaron en los "cajones" de San Luis. La enfermedad de descompresión neurológica, la forma más seria de la enfermedad, afectó a 119 de ellos; 14 murieron.

Entre los afectados estaba Alphonse Jaminet, el médico de los trabajadores, quien, saliendo del cajón una tarde, se sintió mareado e incapaz de hablar, con dolores a los miembros y parálisis de un brazo y ambas piernas. Elevó sus piernas y bebió ron, y en una semana se resolvieron sus síntomas. Sorprendentemente, muchos de los más severos casos de descompresión se solucionaron espontáneamente. Pero algunos no, dejando a los afligidos baldados de por vida. Al lado de estos casos serios, hubieron muchos más incidentes de síntomas menores, comúnmente dolor de articulaciones.

El puente de Brooklyn, construido casi al mismo tiempo que el puente de San Luis, también tuvo bajas. Veinte hombres murieron y muchos más tuvieron secuelas neurológicas. El ingeniero jefe, Washington Roebling, quedó paralizado y tuvo que supervisar el completamiento del puente desde su cama.

Los tratamientos modernos para la enfermedad de la descompresión tienen sus orígenes en observaciones del siglo XIX, al constatarse que cuando los hombres afectados volvían a entrar al cajón presurizado, sus síntomas a menudo mejoraban. Una consecuencia de la reducción del tamaño de las burbujas. Alrededor de este tiempo, Bert informó que respirar oxígeno puro contribuía a aliviar síntomas en animales. Actualmente casi todos los tratamientos incluyen recompresión y descompresión lentas mientras se respira oxígeno. Aunque la recompresión varias horas -o aun días- después de la aparición de síntomas puede resultar en mejoría, es más probable obtener un resultado favorable cuando la recompresión empieza rápidamente.

QUIÉN ESTÁ EN RIESGO

Hoy en día, el grupo de personas en riesgo se ha incrementado al incluir buzos, trabajadores en cajones estancos, pilotos que experimentan caída de presión cuando vuelan a grandes alturas y astronautas que se ponen traje de baja presión antes de salir de sus vehículos. En los Estados Unidos cada año se reportan alrededor de 900 casos entre buzos recreacionales. Aunque la incidencia de la enfermedad de descompresión,

incluso entre los buzos de Estados Unidos, no se conoce, se ha estimado que los buzos recreacionales a nivel mundial son afectados por un incidente cada 5,000 a 10,000 buceos. Para buzos comerciales, quienes a menudo soportan alta presión por períodos largos, la incidencia es alrededor de un caso en 500 a 1,000 buceadas. Lo que es quizá más desconcertante acerca de estos casos, es que la mayoría de ellos no pueden ser atribuidos a un buceo sin precauciones. Para evitar la enfermedad, los buzos emplean ya sea tablas o computadores estancos al agua, los que les informan a qué profundidad y por cuánto tiempo pueden permanecer sin riesgo indebido. Estas tablas evolucionaron del trabajo, los primeros años del siglo XX, por el fisiólogo británico John S. Haldane. Las tablas de Haldane y sus sucesores redujeron drásticamente los casos de enfermedad de descompresión y el número de casos severos. A pesar de eso, la mitad de todos los casos de enfermedad de descompresión corresponden a buzos que alegan haber estado buceando dentro de los límites especificados por una tabla estándard (o por un algoritmo de computador, todos los cuales se derivan de similares matemáticas que las tablas). Parte de la razón por la cual la enfermedad de descompresión ha sido tan lenta en revelar sus secretos es que no se trata de una afección simple sino mas bien de una colección de males tenuentemente relacionados. El término "descompresión" se refiere tanto a la enfermedad de descompresión como al embolismo de gas arterial. Ambos son una función de burbujas y difieren principalmente en las formas en las cuales el gas se introduce en el cuerpo y, en cierta medida, en sus síntomas.

El embolismo de gas arterial ocurre cuando una obstrucción en las vías respiratorias impide el escape de los gases expandidos entre los pulmones. Típicamente esta situación ocurre cuando un novato, o buzo en pánico, retiene su respiración durante un ascenso rápido. Conforme la presión que rodea el cuerpo del buzo disminuye, el gas en los pulmones se expande pudiendo romper el órgano y escapar hacia la sangre. El síndrome también puede resultar del bloqueo de una parte del árbol bronquial, quizás debido al asma o una infección respiratoria, siguiendo el flujo sanguíneo estas burbujas son transportadas entre la circulación arterial y a menudo al cerebro. La obstrucción del flujo sanguíneo impide el funcionamiento del tejido cerebral o lo mata, lo cual explica los síntomas comunes: pérdida súbita de la conciencia, convulsiones y parálisis del medio cuerpo izquierdo o derecho (hemiplegia).

Las observaciones clínicas sugieren, sin embargo, que los mecanismos subyacentes de la enfermedad van más allá de la simple obstrucción del flujo sanguíneo. Por ejemplo, algunos pacientes mejoran después de la recompresión, y luego se deterioran -inexplicablemente- mu-

cho después que pudieran posiblemente haber quedado burbujas permanentes. Los estudios en animales realizados por Desmond F. Gorman y sus colegas en la Universidad de Adelaide, en Australia, han demostrado que después de un embolismo de aire hay una lenta pero continua reducción en el flujo sanguíneo del cerebro aun después que han sido totalmente despejadas las burbujas. Existe evidencia para sugerir que esta persistencia de la patología podría deberse al daño causado por las burbujas en el endotelio (el forro interior de los vasos sanguíneos) y la subsecuente acumulación de glóbulos blancos, que podrían obstruir el flujo directa o indirectamente por medio de la liberación de mediadores químicos.

La enfermedad de la descompresión, por otra parte, es una consecuencia de burbujas que se forman entre los tejidos. El gas inerte que causa esa condición (usualmente nitrógeno o helio) entra al cuerpo durante el buceo, a través de los pulmones y, a causa de las elevadas presiones de las profundidades del mar, se disuelve en la sangre. La circulación transporta este gas disuelto a los vasos capilares, donde se difunde entre los tejidos. Esta difusión, dentro de los tejidos en la profundidad y fuera de ellos en el ascenso, es rápida en la espina dorsal y el cerebro, debido a que los capilares están muy juntos y estos órganos están bien impregnados con sangre.

Estos son tejidos rápidos, dentro de los cuales el flujo sanguíneo es el principal controlador del intercambio de gases inertes. Según este criterio, las articulaciones son "lentas". Están menos impregnadas, de manera que la absorción y eliminación de gas es menos rápida. En los músculos del esqueleto, el intercambio de gases inertes varía un poco. El flujo de sangre a través de los músculos de un buzo frío y en reposo está a un bajo nivel, pero puede ser 10 veces mayor en un buzo acalorado y en actividad.

ELIMINACIÓN DEL NITRÓGENO

Los tejidos del cuerpo en un buzo con respirador de aire que sale a superficie contiene cantidades significativas de exceso de nitrógeno. Eventualmente este gas, introducido durante el buceo, arrastrado por la sangre y transportado a los pulmones, es exhalado. Cuando la presión de todos los gases disueltos en los tejidos excede la presión ambiental que rodea al buzo, se dice que los tejidos están supersaturados. Durante este tiempo, pueden formarse burbujas, como ocurre en un envase de bebida carbonatada cuando se destapa. Usando técnicas de ultra sonido, los investigadores han observado burbujas en el fluido sanguíneo de buzos y aviadores sujetos a descompresiones bruscas, tan pequeñas como 0.3 atmósferas.

Paradógicamente, las burbujas no parecen formarse dentro de la sangre misma. Experimentos realizados inicialmente por el abuelo de

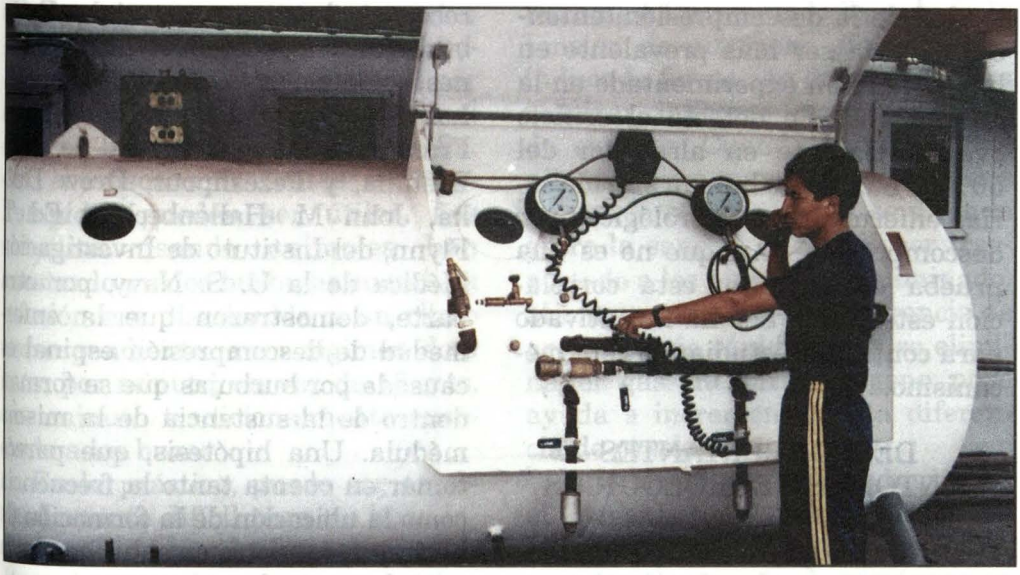
Charles Darwin, Eramus, mostraron que cuando está sellada en su recipiente natural -vaso sanguíneo- y aislada de la circulación, la sangre no burbujea aun cuando sea severamente descomprimida. Estas observaciones fueron confirmadas en nuestro laboratorio, donde no pudimos detectar burbujas en la sangre en una vena aislada aun después que la descomprimimos desde 122 atmósferas. Parece requerirse algo en adición a la supersaturación para que se formen burbujas.

Por otra parte, estudios con rayos X han encontrado bolsillos de gas en las articulaciones de los miembros y dentro y alrededor de la médula espinal, aun sin descompresión. Estos bolsillos se forman como resultado de la adhesión viscosa entre superficies de tejidos en movimiento. Un ejemplo es el "crujido" de una articulación, formación audible y colapso de una burbuja. El gas residual de estos bolsillos puede actuar como el núcleo desde el cual se forman las burbujas que causan la enfermedad de la descompresión. Estos núcleos están fuera del sistema vascular (circulación sanguínea), pero cuando se expanden pueden romper diminutos capilares y de esta forma sembrar burbujas en la sangre circulante. Un fenómeno relacionado puede verse en un vaso con cerveza, en el cual tienden a brotar burbujas de las grietas llenas de gas a lo largo de las paredes.

Los muchos diferentes síntomas de la enfermedad de descompresión se deben a las diversas descompresiones de burbujas intravasculares y extravasculares. El dolor de los miembros, por ejemplo, probablemente resulta de burbujas incrustadas en las terminales nerviosas y tejidos que rodean las articulaciones los adormecimientos o parálisis son causados por la presencia de burbujas en la espina dorsal, las cuales interrumpen fisicamente las células nerviosas y su circulación. La tos y dificultad respiratoria (bloqueos cardio-respiratorios), son producidas por grandes números de burbujas venosas en los capilares de los pulmones. Al lado de estos defectos directos, ahora parecen que hubieran también algunos secundarios. Como cuerpos extraños, las burbujas pueden activar el sistema de coagulación, exacerbando el bloque del flujo sangíneo. La evidencia reunida por Charles A. Ward, de la Universidad de Toronto, ha implicado el complemento, un grupo de moléculas que circulan en la sangre y son importantes en las defensas contra las infecciones.

ATAJO A LAS ARTERIAS

Aunque implicadas en todas las formas de enfermedades de descompresión, las burbujas por sí mismas no significan problema. En efecto, algunos investigadores, tales como Richard Dunford, del centro médico Virginia Mason, en Seattle, han usado equipos de ultrasonido para examinar buzos aficionados después de sus actividades y han encontrado que las burbujas son ex-



Cámara hiperbárica: simulador que reproduce un sistema de aire comprimido en diferentes profundidades bajo el agua.

tremadamente comunes en el sistema venoso, el ventrículo derecho del corazón y la arteria pulmonar. Tales burbujas venosas son presumiblemente inícuas porque son normalmente filtradas por el sistema capilar del pulmón y consecuentemente exhaladas.

Pero si hay suficiente de estas burbujas, la habilidad filtrante de los capilares pulmonares puede ser excedida permitiendo que las burbujas entren al sistema arterial. Alternativamente, una condición del corazón puede permitir que las burbujas pasen directamente del lado derecho al lado izquierdo del corazón (dirigiéndose la circulación a los pulmones), con más o menos el mismo resultado. Las burbujas que entran a la sangre arterial en esta forma, pueden llegar al cerebro interrumpiendo la visión, habla, pensamiento, personalidad o conciencia.

La más común de esas condiciones del corazón es un orificio ovalado patente, una pequeña abertura entre la aurícula derecha y la izquierda del corazón (tal como detectamos en el vacacionista tratado en 1988) presente en 10 al 20% de la población. Usando una técnica llamada cardiografía de contraste de burbujas, puede ser detectado el orificio ovalado patente observando las burbujas que pasan de la aurícula derecha a la izquierda.

Otra condición más rara, conocida como defecto auricular ceptal, podría tener el mismo efecto.

En 1986 se empezó a buscar el orificio ovalado patente en todos los pacientes admitidos para tratamiento por enfermedad de descompresión. Si la existencia de esa condición aumenta el riesgo de la enfer-

medad de la descompresión, entonces debería ser más prevalente en buzos que han experimentado en la enfermedad. Se detectó el orificio ovalado patente en alrededor del 50% de buzos que habían sufrido serias enfermedades neurológicas por descompresión. Aunque no es una prueba concluyente, esta correlación estadística nos ha incentivado para continuar estudiando este mecanismo.

DESCONCERTANTES SÍNTOMAS NEUROLÓGICOS

Otra área promisora de investigación corresponde a las dos formas principales de enfermedades neurológicas por descompresión: cerebral y espinal. Tienen distinto esquema de síntomas; los correspondientes a la médula espinal afectan comúnmente la mitad inferior del cuerpo, debilidad de las piernas, pérdida de sensación y control deficiente del intestino y la vejiga. Las burbujas cerebrales, en contraste, generalmente se manifiestan como hemiplegia (parálisis de un lado del cuerpo), dificultad en el habla, problemas en la conciencia, cambio de personalidad o convulsiones; dichos síntomas cerebrales son relativamente poco comunes. En efecto, un misterio central de las enfermedades neurológicas por descompresión es porque la médula espinal es mucho más afectada que el cerebro.

El efecto cerebral parece ser causado por burbujas que entran al cerebro vía la sangre arterial. Estas burbujas pueden tener varios orígenes como se expuso anteriormente. Los estudios realizados por James Francis, de la Armada Real de Gran Bretaña, y Pezeshpour, Drew Dutka, John M. Hallenbeck y Ed T. Flynn, del Instituto de Investigación Médica de la U. S. Navy, por otra parte, demostraron que la enfermedad de descompresión espinal es causada por burbujas que se forman dentro de la sustancia de la misma médula. Una hipótesis, que parece tomar en cuenta tanto la frecuencia como la ubicación de la formación de burbujas, se centra en el hecho que la médula espinal está sujeta a continuo movimiento, el cual, como en las articulaciones, puede generar núcleos de burbujas por adhesión viscosa. Mas aun, la médula espinal está completamente encerrada por una membrana relativamente inelástica. Notando este hecho, Brian A. Hills, en ese entonces en la Universidad de Texas, en Houston, y Philip B. James, de la Universidad de Dundee, en Escocia, presentaron evidencia experimental, en 1982, de que el desarrollo de burbujas dentro de la sustancia de la médula espinal podía incrementar la presión y producir una reducción secundaria del flujo sanguíneo, completando el daño iniciado por las burbujas.

HACIENDO MÁS SEGURO EL BUCEO

Reducir el riesgo de burbujas en

el sistema venoso puede parecer una buena idea, porque menos podrían entrar al sistema arterial por los pasajes transpulmonares o por el orificio oval patente. Con este fin, los ascensos más lentos o interrumpidos pueden ser útiles. Los estudios usando animales han mostrado menos burbujas cuando la presión era disminuida a un ritmo correspondiente, a un régimen de 9 mts. por minuto, en vez de 18 mts. por minuto tradicionalmente enseñado a los buzos.

En la práctica, puede ser extremadamente difícil para un buzo individual, y particularmente para uno sin experiencia, ascender tan lentamente. Otra forma de conseguir el mismo resultado es interrumpiendo el ascenso con una "parada de seguridad" durante varios minutos a una profundidad de 5 ó 6 mts. (tales paradas son, por definición, el extremo de buceos suficientemente cortos que no requieren paradas obligatorias de descompresión en las tablas standard). Recientemente, Donna Uguccioni, del Sistema de Alerta para Buzos, mostró que una parada de seguridad de 3 minutos a 6 mts. de profundidad reduce las burbujas venosas en un 50%. Más aun, el ascenso lento y las paradas de seguridad podrían permitir un rápido intercambio en los tejidos nerviosos, tales como el cerebro y la médula espinal, dando suficiente tiempo para eliminar el exceso de gas inerte, reduciendo por lo tanto el grado de supersaturación y la posibilidad de crecimiento de burbujas. Otro método de reducir la tensión de nitrógeno disuelto, que induce la formación de burbujas, es respirar mayores concentraciones de oxígeno. Cuando la presión de nitrógeno es mayor en los tejidos que en la sangre, el gas se difunde entre la sangre, pudiendo ser trasportado a los pulmones y eliminado. Mientras mayor sea la diferencia de presión, más rápidamente se elimina el gas. Respirar oxígeno puro ayuda a incrementar esta diferencia de presión.

Aun si se han formado burbujas, el oxígeno tiene valor, porque su eliminación depende de la diferencia entre la presión de nitrógeno en la burbuja y la del tejido que lo rodea.

Este efecto ha sido conocido durante casi un siglo y ha conducido a diferentes aplicaciones de oxígeno en el buceo, tanto dentro como fuera del agua. Casi todo el buceo recreativo se hace con aire comprimido, pero algunas técnicas especializadas o avanzadas demandan respirar mezclas algo diferentes que el usual de 21% de oxígeno. Por ejemplo, los buzos con paradas de descompresión mandatorios a veces respiran oxígeno puro. Los buzos científicos, comerciales, y un creciente número de recreativos, usan aire enriquecido "nitrox", mezclas con 32 ó 36 % de oxígeno. La mayor proporción de oxígeno faculta a un buzo a permanecer abajo más tiempo a determinada profundidad sin necesitar descomprensión escalonada o, alternativamente, usar el

mismo perfil con menor riesgo de enfermedad de descompresión.

Los límites de profundidad son importantes con estas mezclas ricas en oxígeno, porque la respiración del exceso de oxígeno en la mezcla puede producir peligrosos efectos tóxicos cuando su presión en la mezcla excede 1.5 a 1.7 atmósferas. Para una mezcla de "nitrox" con el 32% de oxígeno, por ejemplo, el límite seguro de profundidad sería alrededor de 37 mts. En su forma más seria, la toxicidad del oxígeno se manifiesta con convulsiones generalizadas que pueden resultar en ahogamiento.

CÁLCULO DE TABLAS SEGURAS

¿Cómo ligamos el conocimiento de la fisiología de la enfermedad de descompresión con tablas más seguras y eficientes para las descompresión y algoritmos de computadora?

La incorporación de ideas concernientes a los mecanismos fisiológicos entre modelos matemáticos pueden guiar las excursiones submarinas para minimizar el riesgo. Típicamente estos modelos estiman la presión de gas inerte en diversos tipos de tejidos irrigados a distintos regímenes. Se supone que las burbujas se forman cuando los tejidos resultan supersaturados por algún factor, por lo común alrededor de dos. Este tipo de modelo fue inventado por Haldane hace casi un siglo.

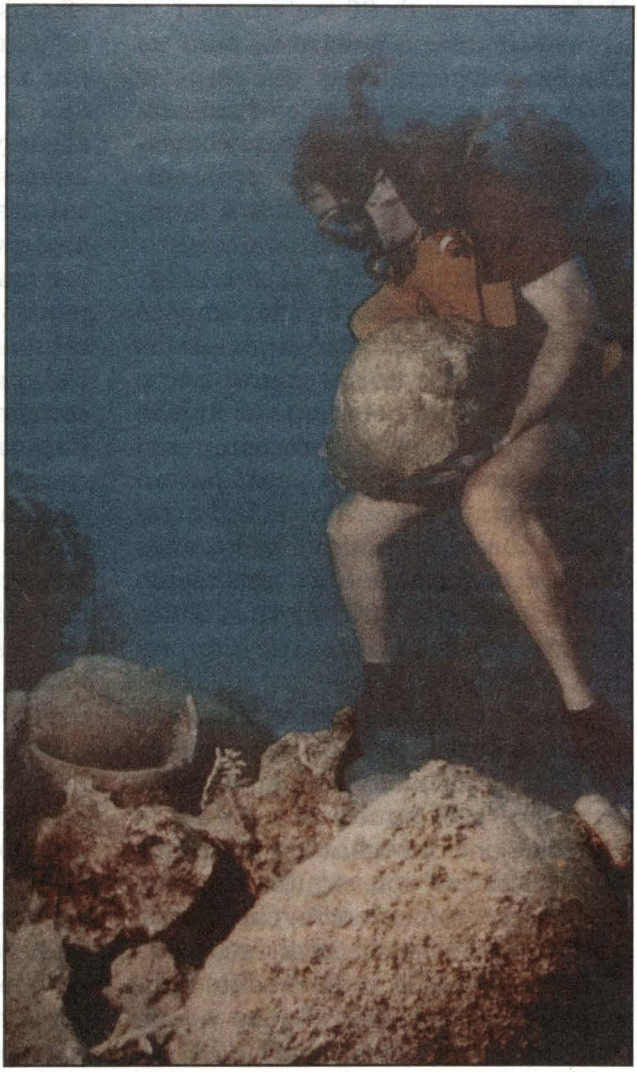
La aproximación básica ha sido refinada varias veces a través de los años, pero todavía no es totalmente satisfactoria. Sin embargo, recientes desarrollos han mejorado el modelo o prometen hacerlo. Quizás el avance más importante ha sido la noción que el evitamiento de la enfermedad de descompresión es asunto de probabilidad más que una demarcación clara entre seguro e inseguro.

Esta idea, desarrollada a mediados de los años 80 por Paul K. Weathersby, Louis D. Homer y Flynn, de la Armada de los Estados Unidos, está basada en modelos que estiman la probabilidad de enfermedad de descompresión referida a cualquier buceo. Para funcionar bien los modelos requieren grandes bases de datos con detalles precisos de centenares de buzos que resultaron con enfermedad de descompresión, así como de miles que no la sufrieron. Tales bases de datos ordinariamente son difíciles y costosas; afortunadamente, los computadores que actualmente usan muchos buzos pueden ayudar. Estos computadores miden y registran profundidades muy exactamente y de modo continuo actualizan los cálculos de nitrógeno en los tejidos y pueden transferir esos datos a computadores personales en superficie.

El significado del método probabilístico es la aproximación más realista de la noción de seguridad. Como cualquier deporte, o manejar un automóvil, el buceo tiene riesgos que pueden ser reducidos pero nunca eliminados. Así, la seguridad en este contexto puede ser considerada como cualquier probabilidad de ser afecta-

do con la enfermedad de la descompresión que un buzo esté dispuesto a aceptar. Algún día las computadoras de buceo basadas en modelos probabilísticos reflejarán esta realidad, posibilitando a los buzos a declarar la probabilidad con la que estén de acuerdo y conducir sus buceos en atención a ello.

Idealmente, estos modelos serían sensitivos a las variaciones individuales. Los modelos actuales sólo se aplican a los buzos "promedio". Para algunos entusiastas del scuba, tales como el turista que tratamos en 1988, condiciones médicas especificas, u otros factores, significan que estos modelos pueden no ser aplicables. Aun los buzos sin dichas condiciones están sujetos a fatiga, tensión, variaciones inmunológicas y otros factores que pueden influenciar la subceptibilidad de un día a otro. El desafio para las décadas venideras será mejorar los modelos y a extenderlos para cubrir a más gentes durante más tiempo. Los buzos, submarinistas, pilotos y astronautas esperan beneficiarse, por supuesto. Lo mismo que cualquier persona interesada en la forma en que el cuerpo humano responde a mayores tensiones ambientales y fisiológicos que le ofrece su ambiente.



A causa del buceo, a hoy se ha creado un definido y amplio cuerpo de conocimientos médicos

BAJO PRESIÓN

Tan pronto como la tecnología de buceo con aire comprimido permitió a la gente aventurarse a profundi-

dades mayores de 90 metros, se descubrió un efecto peligroso, pero no del todo desagradable, de respirar nitrógeno a presión: *Condición de Narcosis*, más poéticamente conocido como "arrebato de la profundidad", a menudo comparable a la intoxicación inducida por el alcohol.

A fines de la década del 30, la Armada de los Estados Unidos empezó a reemplazar el nitrógeno en las mezclas respiratorias para buceo profundo por el helio, que es mucho menos narcótico. El procedimiento tuvo tanto éxito que se pensó por un tiempo que no habrían más barreras al buceo profundo. Por los años 60 se descubrió un nuevo obstáculo a alrededor de los 150 metros. Se les llamó *síndrome nervioso de alta presión (HPNS)*.

Los síntomas de esta extraña condición afectan al buzo presurizado en la profundidad y son, en algunos aspectos, casi opuestos a los de la narcosis por nitrógeno. El síndrome se caracteriza por vómitos, temblores, fatiga, somnolencia, calambres, retortijones estomacales, reducida actividad intelectual, sueño deficiente con pesadillas vívidas y cambios en la actividad eléctrica del cerebro, tales como incremento de las ondas lentas y periodos en los cuales los buzos permanecen conscientes sólo mientras su atención esté concentrada. Mientras mayor sea la profundidad y más rápido el régimen de compresión más severos serán los síntomas.

Los experimentos de Bennet, a fines de los 60, relacionados a los efectos de los gases inertes sobre las membranas de las células empezaron a sugerir una causa y un remedio. A altas presiones, el nitrógeno, argón y otros gases fisiológicamente inertes ejercen sus efectos narcóticos esencialmente en la misma forma que los anestésicos generales, los cuales se cree que causan la expansión de las membranas de las células neuronales. Bennet sospechó que muchos de los mismos mecanismos subyacen en el HPNS. Experimentos subsecuentes sugirieron que los gases narcóticos hacían distender la tensión superficial en las membranas líquidas, mientras que los no-narcóticos, helio o neón, la incrementaban implicando que los gases constreñían las membranas.

Entonces se planteó la hipótesis que la adición de 5 ó 10% de nitrógeno a una mezcla de helio y oxígeno daba como resultado una mezcla que no cambiaría la tensión superficial de una membrana y por lo tanto no causar ni narcosis ni HPNS.

A comienzos de los 70, en el centro médico de la Universidad de Duke, Bennet usó dicha mezcla por primera vez. Esta nueva mezcla verdaderamente mejoró los temblores y otros síntomas de la HPNS. Durante pruebas de 1981, usando nuevas cámaras en Duke, los buzos fueron comprimidos hasta presiones equivalentes a profundidades de 460 a 686 mts. Sin embargo, tan altos regímenes de compresión aún resultaron en algunos HPNS.

MÁS PROFUNDO EN EL ABISMO, Y DE REGRESO

Criaturas peculiares no son nada nuevo en las profundidades acuáticas; sin embargo, en años recientes parece haber más que antes: una mujer británica, productora de películas, que condujo una expedición a donde naufragó el *Lusitania,* a cien metros de profundidad frente a la costa de Irlanda; el anestesiólogo de Indianápolis, que pasa sus vacaciones en cuevas totalmente oscuras a las que llega buceando cientos de metros a lo largo de pasajes inundados, y el analista de sistemas que respira neón y oxígeno mientras visita naufragios a ciento veinte metros de profundidad frente a la costa Este de los Estados Unidos, son bienvenidos al mundo del buceo técnico sin visitas a naufragios o cuevas, ni mezclas respiratorias demasiado esotéricas ni equipos demasiado costosos.

"El buceo técnico es diferente del scuba convencional en la misma forma que un ascenso al monte Everest no es un paseo en el parque", explica Richard D. Vann, director de Investigación Aplicada en el centro hiperbárico del centro médico de la Universidad de Duke. "La diferencia crítica, añade, es que hay un tope en la montaña pero no hay un límite real a la profundidad que pueden alcanzar los buzos". La gente llega cada vez más profundo, y conforme lo hacen, se hace mayor la certeza de que podrán resultar seriamente afectados o aun muertos. En los pasados cinco años la actividad se ha establecido como una pequeña industria, con una revista, una conferencia anual (la última, en San Francisco, reunió 2,000 personas) y aun organizadores de tours para los entusiastas. También ha estado relacionado con un moderado incremento de fatalidades y afecciones serias debidas al buceo, conforme algunos tratan de bucear más allá de su entrenamiento o experiencia, o veteranos extremadamente bien preparados que no pueden completar inmersiones complicadas y algunas veces sin precedentes. Aunque en algún tiempo era disfrutado principalmente por aventureros no muy preocupados con la seguridad personal, el buceo recreativo scuba ya no representa más riesgo que el ski. La metamorfosis se ha conseguido a través de décadas de mejoras en el equipamiento y entrenamiento. Los buzos recreacionales estaban limitados a respirar aire comprimido y a exposiciones de profundidad y tiempos que no requerían descomprimirse en etapas durante el ascenso. Estas restricciones a su vez condujeron a un límite de 39 metros, profundidad a la cual las tablas recomiendan que el buzo no pase más de 10 minutos a menos que se planee una descompresión por etapas.

Para la gran mayoría de buzos, el límite de 39 metros no es oneroso. Sin embargo, los buzos técnicos usan equipos y métodos sofisticados, algunos adaptados, del buceo comercial y militar para ir más pro-

fundo. "Esto abre espacios que no pueden verse de ninguna otra manera, tales como naufragios y cuevas profundas", dice Michael Menduno, editor de *Aqua Corps,* revista mensual dedicada al buceo técnico. "No es fácil, e involucra algún peligro", añade Billy Deans, veterano buzo que ayudó a establecer esta actividad. "Pero ahora es posible llegar a 250 ó 300 pies (alrededor de 90 metros) con un grado aceptable de riesgo". Aceptable para buzos extremadamente experimentados, con dinero suficiente para gastar. Sólo el entrenamiento puede costar varios miles de dólares. No es poco común para un buzo técnico entrar al agua llevando a cuestas U.S. $ 9,000 en equipo, incluyendo pañales (un buceo a 80 metros con su descompresión por etapas puede durar por lo menos 2:30 horas).

Por el privilegio de pasar media hora en el fondo del mar a 77 mts., un buzo necesitaría por lo menos cuatro tanques separados con sus propios sistemas respiratorios, o "reguladores", botellas grandes de una mezcla de oxígeno, helio y nitrógeno, "Trimix", colgadas en la espalda, cubrirían el descenso, un intervalo de 30 minutos en el fondo y un poco más de la mitad de ascenso. Botellas más pequeñas de "Nitrox-2" (36% de oxígeno y 64 % de nitrógeno) y oxígeno puro, aseguradas las dos botellas a los lados del cuerpo, se usarían durante la descompresión, encima de los 34 mts. Las paradas de descompresión -12 en total- empezarían a los 37 mts., y continuarían, a intervalos de 3 mts., hasta llegar a la superficie.

¿Qué vistas y sensaciones justificarían esta clase de peligros y gastos? Los mismos descritos en la mayoría de las novelas de ciencia ficción o aventuras escritas en el siglo pasado: el suspenso de usar tecnología avanzada y técnicas esotéricas para tener acceso a regiones prohibidas, algunas de ellas bellas e inexplorables. "Las áreas debajo de los 39 mts. son realmente asombrosas", imposibles de describir.

El riesgo se incrementa en los ambientes cerrados (naufragios y cuevas) que son el destino usual también por el hecho que durante un buceo con descompresión, cualquier mal funcionamiento o avería debe ser resuelto en las profundidades. Un ascenso a la superficie sin adecuada descompresión causaría, casi con certeza, parálisis o muerte.

Los buzos técnicos constituyen entre un 4.5 % de los estimados tres millones de buzos recreacionales en los Estados Unidos. Nadie parece dudar que entre ellos ocurren mucho más accidentes pero se carece de datos. Y aunque la comunidad técnica es pequeña, sus miembros tienden a pasar más tiempo en el agua, haciendo difícil las comparaciones. Sin embargo en 1993, un año particularmente malo, alrededor de la décima parte de las 92 fatalidades de buzos norteamericanos ocurrieron durante buceos que podrían considerarse técnicos.