

# Cirugía ocular mediante el uso de gas intraoperativo y su compatibilidad con la práctica del buceo autónomo

Uno de los retos más difíciles en el buceo autónomo es la prevención de accidentes relacionados con la presencia de gas en el cuerpo humano. De hecho, mientras que los líquidos en nuestro cuerpo son prácticamente imposibles de comprimir, los gases responden a variaciones en la presión del tejido con variaciones del volumen ocupado por el propio gas. Con un incremento de la presión del tejido, los gases disminuyen de volumen y tienden a disolverse en líquidos orgánicos.

Sin embargo, con la disminución de la presión del tejido los gases aumentan su volumen y tienden a pasar de estado líquido a la descompresión, formando burbujas. Esto último es la causa de lo llamado "enfermedad de descompresión". En condiciones normales, ¿dónde solemos encontrar gases en nuestro cuerpo? Todos los buzos autónomos saben que los gases se encuentran en los pulmones, las vías respiratorias, el oído medio, en los senos paranasales, en el intestino, etc.

Sin embargo, existen circunstancias inusuales en las que el gas está presente en las partes del cuerpo donde no debería estarlo. Sin contar con algunas condiciones patológicas inusuales, la causa más común de esta presencia inusual de gas es iatrogénica, es decir, provocada por procedimientos médicos. Los médicos también utilizan gases por motivos terapéuticos o de diagnóstico. Por motivos de diagnóstico, los gases son a veces utilizados en radiología, por ejemplo, en la examinación del colon. Por motivos terapéuticos, a veces son utilizados durante procedimientos quirúrgicos, como por ejemplo, en ciertas fases de cirugía abdominal, ginecología y oftalmología. En estos casos, la presencia de gas en el periodo post-operacional puede constituir una contraindicación para el buceo autónomo.

En este artículo examinaremos el uso del gas en operaciones oculares, en particular en procedimientos quirúrgicos vítreo-retinales, y cómo este uso puede causar que los pacientes tengan que reducir el tiempo que le dedican a la práctica del buceo autónomo tras la operación. Para hacer que esto sea más fácil de comprender para nuestros lectores, evitaremos el uso de fórmulas matemáticas y explicaremos los conceptos físicos, los significados de los cuales puede ser difícil su comprensión.

## **Antecedentes**

Las primeras observaciones de una burbuja de gas en el ojo de un animal datan del año 1607. Robert Boyle construyó una cámara hiperbárica y puso en ella a diferentes animales. Se sometió a una víbora a la descompresión con su máquina, y se observó la presencia de una burbuja de gas en su ojo. Sin embargo, no pudieron explicar cómo se había formado exactamente. En realidad, este se puede considerar el primer ejemplo de enfermedad de descompresión ingeniada en un laboratorio en la historia de la medicina.

Sin embargo, el uso de gas en cirugía ocular data de comienzos del siglo pasado. El primer intento de usar gas intravenoso en el tratamiento de desprendimiento de retina se remonta a 1909. El gas utilizado fue aire. En la segunda mitad del siglo pasado, los cirujanos oculares comenzaron a utilizar aire para asistir en procedimientos quirúrgicos con presión escleral para el desprendimiento de retina. Posteriormente, se utilizaron gases puros duraderos y mezclas de gases. Todavía se siguen utilizando hoy en día en condiciones vítreo-retinales, especialmente en operaciones de retinopexia neumática y vitrectomía.

## **El uso de gas en operaciones oculares hoy en día**

**Cuando se opera el segmento anterior del ojo**, especialmente la catarata y el glaucoma, el gas utilizado es en realidad sólo aire. El uso de gas en este tipo de cirugía es bastante raro hoy en día, ya que diferentes sustancias con propiedades visco-elásticas, por lo menos en la práctica de la cirugía moderna, han remplazado el uso de aire. La función del gas en estos casos es la de crear espacio y un medio de separar las estructuras endoculares en las que el cirujano tiene que operar. Dado que la cantidad de aire utilizado en la cámara anterior es muy pequeña, el gas es reabsorbido en dos días y por lo tanto no causa problemas a los pacientes que luego deciden realizar buceo autónomo cuando la herida de la operación ya ha cicatrizado. Sin embargo, cabe mencionar que aunque no haya más gas en el ojo, se recomienda esperar al menos 2 meses tras la operación antes de bucear de nuevo para así evitar infecciones o golpes en la herida de la operación.

### **Cuando se opera el segmento posterior del ojo**

Dentro del ojo, el gas de larga duración puede provocar serios problemas a aquellos pacientes que no esperan lo suficiente para volver a realizar buceo autónomo. Estos gases se utilizan en cirugía vitreo-retinal, particularmente en la cirugía para el desprendimiento de retina o degeneración macular. En estos casos la función del gas no es la de “hacer espacio” o la de ayudar a visualizar las estructuras endoculares (lo que, por el contrario, hace que sean más difíciles de identificar), sino la de taponar. El taponamiento es la fuerza que el gas hace presionando contra la retina para facilitar su reposicionamiento a la posición natural cuando la retina se desprende. El desprendimiento de la retina es una enfermedad en la cual la retina se separa de la pared del ojo a la que normalmente está pegada. Como comparación, para entenderlo mejor, imaginemos que el ojo es una habitación.

Las paredes de dentro de la habitación están empapeladas. Una rotura en el papel es la analogía que más encaja con una rotura de retina. Si el papel tiene una rotura, le puede entrar humedad y desprenderlo por completo. Las causas de una rotura de retina se pueden encontrar posteriormente en el desprendimiento del cuerpo vítreo, una enfermedad fisiológica de consideración que la mayoría de las personas experimentan pasada una cierta edad.

No entraremos en demasiado detalle sobre este complejo razonamiento, pero debemos decir que esta enfermedad, en algunos casos, puede llevar a una rotura de retina, provocando posteriores roturas de retina de diferentes grados de gravedad. La mayoría de las roturas de retina no provocan un desprendimiento de retina. Sin embargo, muchas de estas roturas pueden recibir tratamiento láser si el cirujano ocular decide que son peligrosas y precursoras potenciales de un desprendimiento de retina ([Figures 1 and 2](#)).

Algunas de las enfermedades de retina, predisuestas a una rotura de retina, también pueden ser tratadas con láser. Cuando la rotura se convierte en un desprendimiento de retina entre la retina y la pared del ojo, se forma una capa de líquido que impide los intercambios metabólicos normales entre la retina y la capa coroidea, con alto contenido de vasos sanguíneos, que proporciona normalmente el alimento para las células nerviosas de la retina. El desprendimiento, si no se trata, suele extenderse a toda la retina causando ceguera. El propósito de la cirugía de desprendimiento de retina es el de cerrar la rotura de retina y permitir que el líquido debajo de la retina sea reabsorbido.

Se puede obtener el cierre de la rotura de la retina mediante la llamada cirugía episcleral, en la cual se posiciona un elemento que deja marcas (generalmente hecho de esponja o goma de silicona) en la pared externa del ojo. En este caso, la pared del globo ocular es presionada contra la retina desde fuera, obteniendo un cierre funcional de la rotura. Sin embargo, el cierre de la rotura de la retina se puede obtener desde el interior con una vitrectomía en la que se extrae el humor vítreo con instrumentos adecuados y se introduce un elemento de entaponamiento (en forma de líquido o gas) que empuja la

retina contra la pared del ojo, desde dentro, cerrando la rotura y permitiendo la reabsorción del líquido bajo la retina.

El progreso de las técnicas quirúrgicas en la cirugía de desprendimiento de retina ha llevado al aumento del uso del gas en operaciones. En los últimos años, y en casos muy selectos, los cirujanos han comenzado a utilizar procedimientos mini-invasivos llamados retinopexia neumática, que consiste en la inyección de gas en el ojo seguida de un tratamiento láser de la rotura de la retina (la causa del desprendimiento de retina).

De esta manera, el desprendimiento de la retina no se cura con el uso de instrumentos quirúrgicos sino con la inyección de gas que empuja la retina contra el ojo, juntándola de nuevo. La burbuja de gas introducida de esta forma tiende a "flotar", es decir, se fija en un sitio en la parte superior del ojo (ver [figura 2](#)). Si el paciente está tumbado, la burbuja hace presión contra el cristalino. Si el paciente está de pie o sentado, la burbuja de gas comprime la retina desde la parte superior del ojo.

Por tanto, es necesario que en las primeras 24-36 horas posteriores a la operación el paciente se mantenga en la posición decidida por el cirujano para que así la burbuja de gas comprima el área exacta de la rotura de la retina de donde proviene el desprendimiento de retina. En general, en un mes el gas introducido en el ojo es completamente reabsorbido por los tejidos oculares.

### **El tiempo que el gas permanece en el ojo tras la operación**

Distintos tipos de gas permanecen en el ojo diferentes periodos de tiempo. Tras la inyección en el ojo, inicialmente el volumen de aire no cambia, mientras que otros gases como el hexafluoruro de azufre y los perfluorocarbonos tienden a extenderse y aumentar su volumen en los primeros días tras la operación, para luego ser reabsorbidos gradualmente por completo. Cuando no se requiere la expansión inicial, insertan en el ojo una mezcla de gases con aire en lugar de gases puros que está especialmente calculada para evitar causar la expansión inicial del ojo. Bien sea con gases puros o con una mezcla de gases, tras unos días los tejidos comienzan a reabsorber los gases, con una disminución de la dimensión del globo intra-ocular. El tiempo total requerido por los tejidos para reabsorber el globo completamente varía dependiendo del tipo de gas. A veces se necesita un taponamiento de la retina durante 3 ó 4 semanas. En general, sin embargo, tras poco más de un mes todos los tipos de gases son reabsorbidos en los tejidos oculares.

### **Presión intraocular**

La presión intraocular es medida normalmente por un especialista ocular con un instrumento conocido como tonómetro. La presión intraocular (mejor llamada presión intraocular relativa) viene de la diferencia entre la presión absoluta del ojo y la presión absoluta del aire. Una presión de entre 10 y 20mm de mercurio es considerada normal. Por tanto, esto significa que la presión absoluta dentro del ojo es normalmente entre 10 y 20mmHg mayor que la absoluta del aire atmosférico.

Cuando se inserta gas dentro del ojo en un quirófano, tras un aumento inicial de la presión intraocular que dura unas pocas horas, la presión se estabiliza y vuelve a 10-20Hg, ya que hay un intercambio lento de gas entre la burbuja y los tejidos oculares. Como vamos a observar, cuando una burbuja de gas está presente en un ojo, los cambios rápidos de presión externa (por ejemplo, al bucear o volar) provocan variaciones en la presión intraocular.

De hecho, la burbuja de gas intraocular no puede salirse del ojo o ser absorbida por los tejidos suficientemente rápido. Como ya mencionamos, la presión intraocular viene de la diferencia entre la presión interna absoluta y la del exterior. Por tanto, en presencia de una burbuja de gas intraocular, si la presión externa disminuye (por ejemplo, en un vuelo), la presión intraocular aumenta.

De nuevo, en presencia de una burbuja de gas intraocular, si la presión externa aumenta como lo hace en el buceo autónomo, la presión intraocular disminuye. Un incremento de la presión intraocular es peligroso por el daño que las burbujas de gas en expansión pueden causar a la estructura intraocular, aumentando en volumen. Una disminución de la presión intraocular es también peligrosa para la compresión de los tejidos perioculares en el globo ocular (que se vuelve blando).

### **Gas intraocular y el buceo autónomo**

Ahora consideremos el buceo con ojos desprotegidos o lentes de contacto, pero sin la máscara de buceo. Durante el descenso bajo el agua, la presión externa del agua pasa a través de los tejidos oculares. En este caso, la presión externa del agua corresponde a la de la presión interna en todas las partes del ojo. La presión intraocular (relativa), como se definió anteriormente, tiende a permanecer estable, pero la presión intraocular absoluta aumenta comparada con la presente en la superficie del agua. La atmósfera hiperbárica lleva a la disminución del volumen de la burbuja de gas introducida gradualmente en el ojo antes de la inmersión, lo que luego lleva al colapso de la pared ocular con un daño potencial de las estructuras endoculares.

En realidad, los buzos autónomos suelen llevar una máscara llena de aire. Por lo tanto, calcular la presión es complicado por la presencia de la burbuja de aire en la máscara. El punto de contacto entre el aire y la cara del buzo es el punto crítico del gradiente de presión. Si la presión del espacio aéreo en frente de los ojos del buzo no aumenta con la “maniobra de compensación de la presión de la máscara”, la presión del aire en la máscara se vuelve inferior a la de fuera del agua. El resultado es “succión”, el llamado “barotrauma de máscara”. El tejido de los ojos y la cara con una presión superior a la de dentro de la máscara es empujado a entrar dentro de la propia máscara.

Este fenómeno es conocido en el mundo del submarinismo como “barotrauma de máscara”. Sin embargo, el resultado es una deformación y desplazamiento de los tejidos de los ojos hacia la parte de dentro de la máscara, un edema de los tejidos y en ocasiones hemorragias. De hecho, la diferencia entre la presión de los vasos sanguíneos y los tejidos intersticiales y la presión del aire en la máscara aumenta considerablemente en el descenso comparada con la situación en la superficie del agua.

Por tanto, los incidentes de buceo en los que la presión en la máscara no se compensa de manera adecuada causan daños en el área ocular con dolor y hemorragias subconjuntivales. Afortunadamente, el daño y las hemorragias dentro del ojo son poco comunes. Para un buzo autónomo bajo el agua que tiene una burbuja en el ojo, si la presión en la máscara es la misma que la presión externa del agua, la burbuja de gas intraocular, descrita en el caso del ojo desprotegido bajo el agua, reduce su volumen y el ojo puede sufrir un colapso.

Las variaciones de la presión dentro de la máscara, como con la presión externa del agua, puede provocar variaciones en el volumen del gas dentro del ojo. En el caso del “barotrauma de máscara”, la presión de la máscara inferior a la del agua (y por tanto a la del ojo) puede causar un aumento del volumen de la burbuja de gas intraocular. Esto puede terminar con un estiramiento del globo ocular y un desprendimiento hacia delante del cristalino y otras estructuras oculares. Lo opuesto no es posible, ya que la presión en la máscara, cuando es superior a la del agua (y por lo tanto a la del ojo) lleva al escape de aire de la máscara y al rebalance de la presión en la máscara, que se iguala a la de fuera.

A la luz de estas consideraciones físicas y fisiológicas, es recomendable no bucear si queda algo de gas en el ojo tras el procedimiento quirúrgico. Esta recomendación también aparece en la hoja de instrucciones de los fabricantes de botellas de gas usadas en cirugía.

## **Gas intraocular y volar**

Los buzos autónomos viajan largas distancias para alcanzar lugares de buceo remotos. Volar es algo peligroso para el ojo si presenta gas intraocular. La presión del aire en la cabina de los aviones es generalmente la misma que la presión atmosférica en las montañas a 1500 metros por encima del nivel del mar. La presión intraocular absoluta, definida anteriormente, tiende a permanecer estable, pero la presión relativa (es decir, comparada con la del exterior) aumenta comparada con la del aeropuerto de salida (obviamente si el aeropuerto está a una altura menor de 1500m por encima del nivel del mar). A bordo de un avión, esto lleva a la expansión de la burbuja de gas insertada en el ojo a la presión de la sala (en un quirófano) a presión atmosférica generalmente más cercana a la del nivel del mar, y por tanto, mayor. La burbuja de gas expandida de esta manera puede conducir a daños intraoculares desplazando y comprimiendo los tejidos intraoculares. Por tanto, se deben evitar los viajes aéreos cuando se posee una burbuja de gas en el ojo.

## **Compatibilidad con el buceo de autonomía**

### **Tratamiento láser para roturas de retina**

Los buzos a menudo solicitan más información acerca de este procedimiento. En algunos casos, está asociado a la inserción de gas (retinopexia neumática), la cual será tratada en mayor detalle en este artículo. En la mayoría de los casos, sin embargo, se lleva a cabo sin la inserción de gas en el ojo. Este es un tratamiento profiláctico de rotura de retina utilizado para prevenir la aparición de desprendimiento de retina. En algunos casos, se puede bordear con tratamiento láser un pequeño desprendimiento localizado, bloqueando su extensión a otras partes de la retina y por lo tanto evitando mayores daños.

En algunos tipos de procedimientos quirúrgicos para desprendimiento de retina, el tratamiento láser se lleva a cabo después de que la retina se haya vuelto a pegar mediante técnicas quirúrgicas eplisclerales o intraoculares (vitrectomía o retinopexia neumática). Todos los casos de tratamiento láser consisten en provocar una quemadura microscópica en la retina que, al cicatrizar, bloquea la infiltración de líquido del vítreo hacia el área debajo de la retina.

No existen contraindicaciones para el buceo autónomo tras un tratamiento láser para un desprendimiento de retina o una degeneración de retina sin desprendimiento de retina si no se ha introducido gas en el ojo. Obviamente, se deben evitar traumatismos oculares o actividades extenuantes durante las 3 semanas posteriores al procedimiento hasta que se cicatrice la retina. También se debe evitar el "barotrauma de máscara" al bucear.

### **Operaciones de cataratas, retinopexia neumática, vitrectomía, cirugía episcleral para el desprendimiento de retina.**

Como medida preventiva, se aconseja abstenerse de bucear y de realizar viajes aéreos durante los 2 meses posteriores a los procedimientos quirúrgicos.

Este tiempo de recuperación permite que el gas utilizado durante la operación sea reabsorbido por el tejido ocular. El buceo autónomo y los viajes aéreos pueden reanudarse un poco antes cuando un especialista ocular dé el visto bueno si no se ha introducido gas en el ojo durante la cirugía o, si se ha utilizado gas, cuando el especialista ocular hace una revisión y decide que el ojo ya no presenta gas intraocular y la herida de la operación está totalmente cicatrizada.

Fig. 1	Fig. 2	Fig. 3
		

## **Agradecimientos**

Agradecemos en especial a Diego Dick, Giorgio Orlandelli, y el Doctor Paolo Perosa del centro de buceo Cala Lunga en La Maddalena, por su ayuda en la recopilación de este artículo.