

## Foramen oval permeable: el final está cerca



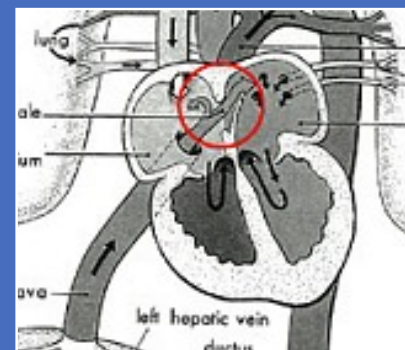
*By Prof Costantino Balestra,  
DAN Europe Vice President  
Research and Education*

Desde el año 1989, cuando DAN America publicó el primer artículo sobre la posible relación entre el foramen oval permeable y las enfermedades por descompresión (Moon, Camoresi et al), no ha habido ni un momento de respiro en la búsqueda de la verdad acerca de este tema. En 1996, el departamento de investigación de DAN Europe comenzó a investigar para intentar responder a algo que en ese momento, y como consecuencia de dicho artículo, motivaba una seria preocupación: ¿Es el riesgo de padecer una ED mayor en el caso de un buceador con FOP? .

El problema no era tan simple como podría parecer, ya que no basta con estudiar a los buzos que hayan sufrido una ED para saber si presentan una mayor prevalencia de FOP que la población media.

La técnica empleada es la del estudio retrospectivo, que plantea el problema de que no puede mostrar el riesgo relativo asociado al FOP, puesto que la única población estudiada es la de los buceadores con antecedentes personales de ED; esto significa que no sabemos cuántos buceadores sin FOP no sufrieron accidentes. A esto se refieren los especialistas con la expresión "sesgo en la población", que significa que los resultados no pueden considerarse como una evaluación del riesgo que tienen los pacientes con FOP de padecer una ED.

Otra posibilidad es utilizar un test de "pares alineados", lo que mejora la calidad estadística de los resultados de una población retrospectiva, aunque tampoco asegura una valoración concluyente del riesgo implicado.



## El estudio de "pares alineados"

## Results (3)

### “undeserved” DCI

- cerebral 10/12 PFO, 9/12 gr.II PFO  
spinal 6/14 PFO, 4/14 gr.II PFO  
p=0.051 & p=0.047 (Fischer, 2-sided p)
- DCI with PFO: 16/22 cerebral (73%)  
DCI without PFO: 4/15 cerebral (26%)  
p=0.0084  
for gr.II PFO: p=0.021 (Fischer, 2-sided p)  
Odds Ratio: 7.33 (PFO), 5.6 (gr.II PFO)

Se analizó a un grupo de 37 buceadores que habían sufrido una ED con el fin de ver si tenían FOP. Para ello se utilizó la técnica más eficaz: la ecocardiografía transesofágica. Los pares de buceadores se establecieron basándose en criterios como la edad, peso, sexo, consumo de tabaco, etc. Quienes nunca habían tenido una ED se sometieron al mismo análisis estándar de ecocardiografía. La incidencia de enfermedad descompresiva cerebral era mayor entre quienes tenía FOP, aunque ello no quiere decir que la presencia de un FOP sea la causa desencadenante de la ED, sino más bien que constituye un riesgo potencial. De hecho, son siempre las burbujas las que la motivan. Si comparamos con los resultados de otros estudios, como Bore hizo en su metaanálisis, podemos observar que las metodologías de evaluación del FOP no están normalizadas, es decir, los autores no se ponen de acuerdo respecto al método de aplicación del ecocardiógrafo. Todo esto dificulta la obtención de datos que puedan ser fácilmente comparables. Así pues, lo que nos interesa es la metodología y la bioquímica de la apertura del FOP.

### ¿Cómo se abre el FOP para dejar pasar a las burbujas?

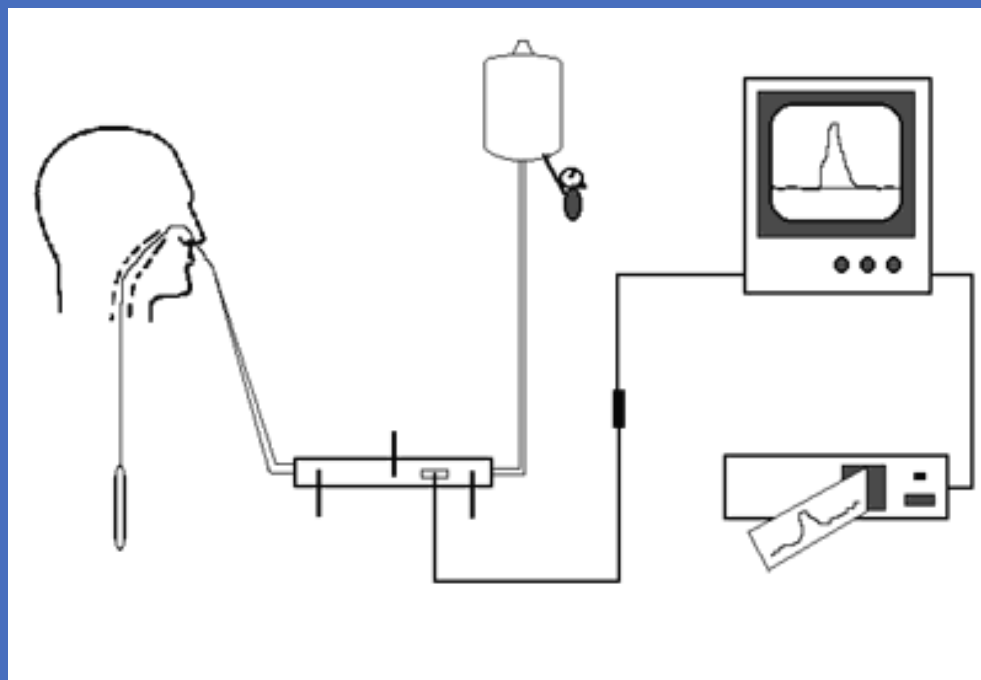
Las burbujas descompresivas se encuentran fundamentalmente en las venas; en el caso del corazón, están principalmente en las venas cava superior e inferior. Con frecuencia, los buceadores consideran el FOP como un agujero que constituye un paso continuo entre la aurícula derecha y la izquierda, la parte del corazón que corresponde a las arterias y donde no querríamos ver burbujas (véase la ilustración). La sangre que llega desde la vena cava superior, antes de tocar el FOP, tiene que pasar una especie de pliegue previsoramente dispuesto por la naturaleza. Esto produce un brusco incremento en el ritmo de este flujo, que se encuentra con el que viene de la vena cava inferior, de modo que se genera una turbulencia que hace que las



burbujas PASEN por el tabique interauricular. Así pues, si lo interpretamos correctamente, en condiciones naturales las burbujas no tienen por qué atravesar el foramen oval. Entonces ¿qué sucede con las burbujas inyectadas en el ecocardiograma transesofágico para medir el FOP, que sí pasan a la aurícula izquierda? La razón es que los movimientos respiratorios invierten el flujo intracardiaco producido por las variaciones de la presión intratorácica.

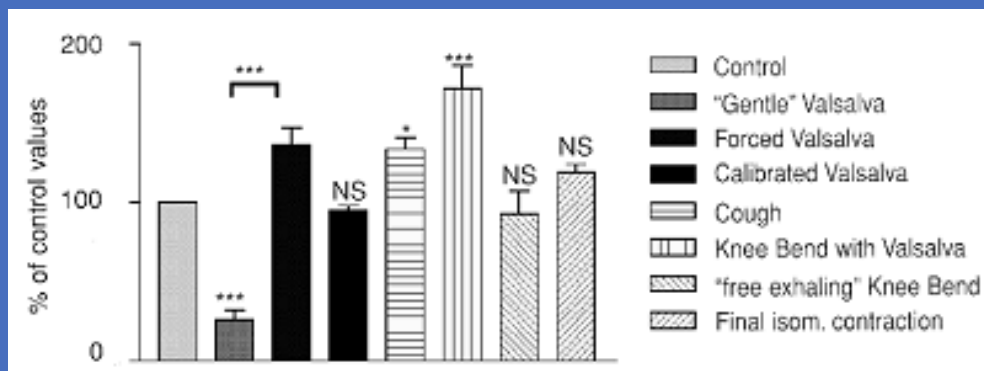
### Variaciones en la presión intratorácica.

Para averiguar cómo se abre el FOP, solicitamos a 15 buceadores voluntarios que realizaran una sencilla prueba para la que había que insertarles un catéter con globo en el esófago. Después de pedirles que realizaran un esfuerzo intenso con los músculos pectorales, se midió la presión ejercida sobre el esófago, y por lo tanto sobre la cavidad torácica, y se realizaron varias maniobras con el fin de incrementar la presión intratorácica.



En este punto cabría preguntarse por qué el aumento de dicha presión está relacionado con la apertura del FOP. En realidad, el FOP no se abre como consecuencia directa del incremento, sino más bien por la disminución de la presión. Expliquémoslo con más detalle: cuando realizamos un esfuerzo que hace que la presión intratorácica se incremente, el flujo de sangre venosa hacia la cavidad torácica se bloquea o se ralentiza, ya que la sangre siempre fluye hacia las áreas donde la presión es menor (gradiente de presión). Esta sangre que queda "bloqueada" fuera del tórax entra enérgicamente en la aurícula derecha una vez se ha REDUCIDO la presión intratorácica; la dirección de apertura del FOP es de derecha a izquierda, por lo tanto puede abrirse con este aumento del flujo desde la aurícula

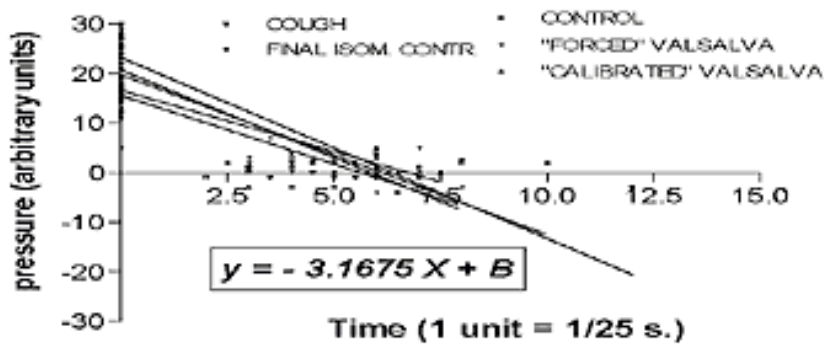
derecha.



Así pues, hemos comprobado que la variación de la presión puede medirse, y hemos establecido también cuál es la intensidad de presión necesaria para abrir el FOP. En el gráfico 100% igual a la presión tienen cabida variaciones significativas de la presión intratorácica, siendo las otras medidas métodos estándar, como la maniobra de Valsalva efectuada durante la inmersión para compensar los oídos, la tos, una contracción isométrica del tórax, etc. Una de las primeras medidas es la de observar la diferencia de presión entre la maniobra de Valsalva para compensar los oídos y la maniobra de Valsalva forzada.

La diferencia es muy significativa, y nos demuestra que la maniobra que lleva a cabo el buceador normalmente no tiene por qué abrir el FOP. En cualquier caso, podríamos argumentar que es posible que el problema surja durante la descompresión, es decir, durante el ascenso, y que por lo tanto no intervienen las técnicas para aumentar la presión intratorácica. No obstante, es cierto que siempre se recomienda evitar el ejercicio intenso después de haber buceado. Para saber si el alcanzar un nivel elevado de presión implica una mayor velocidad de disminución de la misma, que por lo tanto haría a la persona más propensa a la apertura del FOP, lo que hicimos fue medir dicha velocidad.

Para hacerlo, tuvimos que comprobar las variaciones en la presión en un momento dado, es decir, hicimos una regresión matemática y calculamos el coeficiente angular de la recta.



Después de haber medido esta recta, también puede calcularse la diferencia estadística entre sus inclinaciones, de manera que podemos saber si una de las velocidades es verdaderamente distinta de las otras. Los resultados demuestran que no existen diferencias estadísticas entre las velocidades, es decir, que si la presión intratorácica es lo bastante elevada, su velocidad de disminución será siempre la misma, independientemente de cuál sea la maniobra. Así pues, el parámetro fundamental en la inversión del flujo intracardiaco tras la disminución de la presión es el tiempo durante el cual se mantiene el nivel de presión. En resumen, lo importante NO es la magnitud de la PRESIÓN, sino más bien el TIEMPO que ésta dura. Por ejemplo, los buceadores con FOP deberían procurar no soplar para inflar el chaleco compensador de flotabilidad en la superficie, además de no subirse a la embarcación con todo el equipo, para evitar así el esfuerzo prolongado (4 o 5 segundos).

Otro aspecto interesante de este estudio es que revela que en otros estudios publicados, las maniobras respiratorias provocadas para abrir el FOP suelen ser demasiado breves, y por lo tanto conducen a una mediciones demasiado pequeñas del FOP, ya que, aunque las burbujas de hecho pueden pasar, muchas más lo harían si la maniobra fuera más prolongada, lo que haría que el FOP se considerase más grande. Éste es un importante hallazgo, porque demuestra que entre la población de buceadores el tamaño del FOP es mucho mayor de lo que se pensaba, y por lo tanto que la morbilidad o el riesgo no son tan grandes como se creía a la vista de las dimensiones del FOP. Ahora que conocemos la dinámica de la apertura del FOP, así como la manera en la que pasan las burbujas, podemos centrar nuestra atención en una cuestión diferente: ¿cuál es la prevalencia de lesiones cerebrales entre los buceadores con FOP?

## “Manchas” en el cerebro y FOP

Hace unos años, hubo una serie de estudios que manifestaron la relación entre el FOP y las "LESIONES" cerebrales. Desde entonces se han publicado otros que han llegado a la conclusión de que no existe una relación directa. En todos ellos, sin embargo, nos encontramos con el mismo sesgo de población al que nos referíamos anteriormente. Así pues, DAN solicitó a dos grupos de personas (50 de ellas buceadores y otras 50 no buceadores) que se sometieran a resonancia magnética nuclear cerebral. Todos los participantes tenían que ser menores de 41 años, ya que según los estudios pueden producirse lesiones cerebrales espontáneas a partir de los 45 años de edad. El rasgo distintivo era que la población del estudio era aleatoria. Pedimos 400 voluntarios: 200 buceadores y 200 no buceadores. En el caso de los buceadores, tenían que declarar que nunca habían padecido una ED, aunque en ocasiones se omitieron ciertos accidentes, y las afecciones cerebrales en concreto no se tuvieron en cuenta por ser los síntomas de tipo benigno o de breve duración (¿quién de nosotros no ha sentido alguna vez después de bucear un ligero mareo que desaparece a los pocos minutos, o quién no se ha enfrentado a problemas por una mala compensación de los oídos o una burbuja transitoria en el cerebro?).



Para evitar una incorrecta selección de la población, elegimos a un buceador de cada cuatro.

Posteriormente, comparamos la cantidad y la extensión de las "manchas" que presentaban los buceadores y los no buceadores.

El número de manchas era algo mayor en el caso de los buceadores, aunque la diferencia no era significativa. Esto va en contra de lo que algunos autores dicen de las poblaciones no aleatorias y sin grupo de control. Además, para asegurar la exactitud de los resultados, se utilizó un filtro especial que permite un diagnóstico fiable de la secuencia FLAIR (siglas en inglés de *FLuid-Attenuated Inversion Recovery*, recuperación mediante inversión con atenuación del flujo). Otro escollo que hubo que superar fue la posibilidad de encontrar zonas naturalmente lagunares, conocidas como espacios de Virchow-Robin, y diagnosticarlas como "LESIONES".

La conclusión es que no podemos demostrar una mayor prevalencia de "manchas cerebrales" entre los buceadores, incluso en el caso de quienes tienen FOP. Pero ahora la cuestión es si estas manchas son de origen vascular o si sencillamente están ahí, sin que exista ninguna relación con las burbujas arteriales de origen vascular que podrían venir del FOP. Para estar seguros, habría que realizar la autopsia a los cuerpos de los buceadores, lo cual supone un pequeño

problema ético. De todos modos, hay una solución alternativa: el análisis fractal.

---

### **Análisis fractal de imágenes cerebrales**

DAN está realizando un estudio sobre las posibilidades que ofrece el análisis matemático. Todos hemos oído hablar de los fractales, pero quizá no tanto del análisis fractal. La naturaleza cuenta con un modelo matemático de distribución espacial: la dimensión fractal. Cuando esta dimensión ya no es compatible con la norma del tejido, puede haber una lesión, como sucede por ejemplo con el cáncer o la osteoporosis. Por otra parte, cuando el tamaño de una mancha es compatible con el de la vascularización cerebral puede decirse que dicha mancha tiene un origen vascular, ya que ello responde a una extraña característica de los fractales: la autosemejanza. Esta investigación de DAN está en curso, y como pueden comprobar por las referencias a otros trabajos, estamos utilizando las técnicas más avanzadas de la investigación moderna.

Otra cuestión que surge en el tema del foramen oval permeable es si su situación anatómica puede variar con los años o durante la inmersión.

---

### **¿Puede el buceo hacer que se abra el FOP?**

En el estudio de Hagen sobre autopsias se midió la prevalencia del FOP, y se llegó a la conclusión de que las personas de más edad presentaban FOP de mayores dimensiones. ¿Se debe esto a la edad, a la fortaleza física o se trata simplemente de un accidente estadístico? Queríamos responder a la pregunta de si el buceo combinado con el incremento de la presión en la aurícula derecha podría abrir gradualmente el foramen oval y acabar por convertirlo en un FOP. Tal y como hemos observado, para asegurar una respuesta válida se precisa de una técnica estándar para medir el FOP, y que preferentemente esté aplicada por los mismos investigadores unos años después del análisis inicial. En el año 2002 realizamos este estudio con buceadores que ya habían estado en la primera fase (años 1996 y 1997). Después de ponernos en contacto con la mayoría de participantes, procedimos a evaluar el FOP con los mismos especialistas y las mismas técnicas estándar de maniobras respiratorias. Los resultados muestran un cambio en el FOP, pero también hubo un caso en el que el FOP se había cerrado espontáneamente... aunque el individuo había dejado de bucear.

En estos momentos no podemos asegurar sin lugar a dudas que el FOP no pueda abrirse con la práctica del buceo, o

incluso con otras actividades como el tocar la trompeta o el saxofón.

---

### ¿Podemos definir el riesgo que implica el FOP en las actividades subacuáticas?

Actualmente la respuesta es NO. Como ya hemos dicho, no hay una relación directa con el riesgo, que de todos modos parece ser menor de lo que se creía. Para dar una respuesta definitiva a esta pregunta sería necesario un estudio prospectivo que evaluara el riesgo relativo del FOP. DAN ha abierto una línea de investigación en la que cualquiera que desee inscribirse puede participar. Se trata de un estudio internacional que se realiza desde diversos centros y que analiza el FOP en buceadores con un método mínimamente agresivo validado por DAN: el Doppler carótido (véase la imagen), un sistema que también ha adoptado la NASA, gracias a DAN Europe.



Para asegurar la validez estadística, necesitamos la intervención de al menos 4.000 buceadores voluntarios. Visite la [página web](#) y participe.

---

### Conclusiones.

Como pueden ver, llegar a conclusiones definitivas respecto a un problema aparentemente lógico y sencillo no es una tarea fácil, y requiere además mucho esfuerzo, tiempo, dedicación y voluntarios...

Como fundación científica, en DAN financiamos estos estudios que nos benefician a todos, aportando un equipo de científicos que ponen todo su entusiasmo y dedicación, y que trabajan en colaboración con diversas universidades, laboratorios y centros hiperbáricos. En lo referente a la cuestión del riesgo que supone el FOP, es evidente que no es grande, y que el verdadero peligro no es la existencia del FOP, sino las burbujas de gas circulantes. En DAN estamos desarrollando el sistema DSL, que permitirá el análisis de las burbujas que circulan por el plasma de los buceadores deportivos, y ya hemos publicado los algoritmos de "protección frente a las burbujas", pero de todos modos, la investigación continúa.

---