



# **Das offene Foramen Ovale als Ursache des schweren Tauchunfalls**

**Dr. Rudolf Hering**

Arzt für Anästhesie  
Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und Spezielle Intensivmedizin  
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn  
Sigmund-Freud-Straße 25 D-53105 Bonn



### Physiologische Funktion des Foramen ovale in der Fetalperiode

Das offene Foramen ovale ist eine Öffnung der Scheidewand zwischen rechtem und linken Vorhof des Herzens, die beim ungeborenen Fetus physiologisch ist und den Übertritt von Blut vom rechten zu linken Vorhof gewährleistet. Im Mutterleib wird das fetale Blut in der Plazenta mit Sauerstoff angereichert und über die Nabelschnurvene in den rechten Vorhof geleitet. Da die Lungen des ungeborenen Kindes in der Gebärmutter noch nicht entfaltet sind, wird nur ein geringer Teil des Blutes vom rechten Vorhof über die rechte Kammer in die Lungenstrombahn geleitet. Vielmehr wird ein großer Teil des mit Sauerstoff gesättigten Blutes aus dem rechten Vorhof über das Foramen ovale in den linken Vorhof und von über die linke Kammer in den Körperkreislauf zur Versorgung der Gewebe geleitet. Unmittelbar nach der Geburt entfalten sich die Lungen nach dem ersten Schrei des Kindes und der Strömungswiderstand der Lungen nimmt dadurch erheblich ab. In der Folge fließt deutlich mehr Blut vom rechten Vorhof über die rechte Kammer in die Lungen und von dort aus zurück zum Herzen in den linken Vorhof, in dem dadurch der Druck über den Druck des rechten Vorhofs ansteigt. Ähnlich einem Ventilmechanismus legt sich daraufhin eine Membran vor das Foramen ovale und verschließt dieses.

### Persistieren des Foramen ovale

In der Neugeborenenperiode ist das Foramen ovale lediglich funktionell verschlossen, d.h. unter bestimmten Bedingungen kann es wieder geöffnet werden. Dazu gehören v.a. die Druckerhöhung im Lungenkreislauf, wie sie beispielsweise bei schweren Lungenerkrankungen und/oder der Beatmung mit positivem Druck bei akutem Lungenversagen des Neugeborenen, dem infant respiratory distress syndrome (IRDS), auftreten kann. Normalerweise verschließt sich das Foramen ovale im Laufe des Säuglingsalters endgültig, sodass auch Druckerhöhungen im Lungenkreislauf nicht mehr zu einer Wiedereröffnung des Foramen ovale führen können. Durch die Methode der Echokardiographie konnte jedoch in den letzten Jahren dokumentiert werden, dass das Foramen ovale bei bis zu 30 Prozent der Erwachsenen zumindest im Provokationstest offen ist. In der Regel hat dieses sogenannte persistierende offene Foramen ovale (PFO) jedoch in der Mehrzahl der Betroffenen keine pathologische Bedeutung, denn unter Normalbedingungen kommt es meist nicht zu einem den Kreislauf oder die Blutgase beeinflussenden Übertritt von Blut aus dem linken in das rechte Herz oder umgekehrt.

### Pathologische Bedeutung des persistierenden Foramen ovale

Die Lunge stellt normalerweise einen wirksamen Filter für alle festen und gasförmigen Partikel dar, die aus den Geweben über das venöse Blut zum rechten Herzen transportiert werden. So werden z.B. kleine Blutgerinnsel, die sich aus Körpervenolen lösen, mit dem Blutstrom ins rechte Herz gelangen und von diesem in die Lunge gepumpt werden, in den Lungenkapillaren aufgehalten. Ähnlich verhält es sich mit Luftblasen, die unter Umständen durch unsachgemäße intravenöse Infusion von Flüssigkeit oder Medikamenten oder chirurgische Eröffnung großer Venen in die Lungenkapillaren gelangen. Von der Größe dieser Partikel hängt es ab, ob diese Ereignisse symptomlos bleiben oder unter dem Bild einer akuten Lungenembolie imponieren. Im Falle eines PFO können diese Partikel nun den Lungenfilter umgehen und über das linke Herz in alle möglichen Gewebe des Körpers zu gelangen. Je nachdem, welches Organ von der Durchblutungseinschränkung durch solche Emboli betroffen ist, können die Symptome solcher sogenannter paradoxen Embolien relativ harmlos (Milzinfarkt) bis lebensbedrohlich (Hirnfarkt) sein.



## **Pathophysiologische Besonderheiten des PFO beim Tauchen**

Mittels Gefäßdoppler-Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass es bei der Dekompression nach jedem Tauchgang (auch innerhalb der Nullzeit) zu einer mehr oder weniger ausgeprägten Bildung von Gasblasen im venösen Blut kommt (1). Auch diese Gasblasen werden normalerweise vom Lungenfilter abgefangen. Liegt nun ein PFO vor, so können diese Gasblasen bei tatsächlicher Eröffnung des Foramen ovale unter Umgehung des Lungenfilters sofort ins linke Herz und von dort in die Körpergewebe gelangen, um dort Embolien zu verursachen. Dies ist insbesondere dann zu befürchten, wenn der Druck im rechten Herz über den des linken Herzens ansteigt und entlang diesem Druckgefälle gasblasengesättigtes Blut durch das PFO ins linke Herz fließt. Akute Druckerhöhungen im rechten Herzen werden aber beim Tauchen recht häufig provoziert, z.B. beim Husten (Wasser im Lungenautomat) oder im Rahmen eines Valsalva-Manövers zum Druckausgleich der Nasennebenhöhlen. Auch nach dem Tauchen, z.B. beim Heben und Tragen der Ausrüstung, kann es durch eine Pressatmung ebenfalls zu einem relativ höheren Druck im rechten Herzen kommen. Dadurch ist es möglich, dass Gasblasen in den linken, arteriellen Kreislauf gelangen und dort unter Umständen fatale Embolien verursachen.

## **Hinweise für die klinische Bedeutung des PFO in der Entstehung einer Dekompressionserkrankung**

In radiologischen Untersuchungen des Gehirns von Tauchern sind kleinste durchblutungsgestörte Hirnareale häufiger anzutreffen als bei Nicht-Tauchern (2). Es wurde gezeigt, dass Taucher mit PFO eine deutlich größere Zahl diese Hirnläsionen aufweisen als Taucher ohne PFO (3). Daneben gibt es Hinweise, dass die Rate an PFO bei Tauchern mit einer schweren Dekompressionserkrankung mit neurologischen Symptomen höher ist als bei Tauchern ohne PFO (4). Dies scheint insbesondere für Dekompressionserkrankungen zu gelten, bei denen keine offensichtlichen Fehler bei der Dekompression gemacht worden sind. Es ist jedoch nach wie vor nicht bekannt, wie hoch das Risiko für das Auftreten einer schweren Dekompressionserkrankung bei Vorliegen eines PFO ist.

## **Behördliche Richtlinien und Empfehlungen für Berufstaucher mit PFO**

Bislang existieren weder bei der Tiefbau-Berufsgenossenschaft, die in Deutschland für die Berufstaucher zuständig ist, noch bei der Bundeswehr z.B. in Dienstvorschriften, niedergelegte verbindliche Richtlinien in Bezug auf das PFO. Dementsprechend wird weder bei den Tauchtauglichkeits-Untersuchungen der Berufsgenossenschaft noch der Bundeswehr explizit nach einem PFO gefahndet. Auch in den neuen Empfehlungen zur Tauchtauglichkeits-Untersuchung der GTÜM fehlen bisher entsprechende Hinweise. Erwähnenswert ist aber, dass das PFO Ausschlusskriterium für Astronauten der NASA ist.

## **Untersuchungsmethoden zur Erkennung eines PFO**

Die sensitivste Methode, ein PFO zu erkennen, ist die sogenannte transösophageale Echokardiographie in Kombination mit einem Provokationstest. Diese Methode ist jedoch relativ invasiv und teuer, sodass sie als Screening-Verfahren in einer Kosten-Nutzen-Analyse wahrscheinlich nicht standhalten würde. Eine weitere Methode ist die Doppler-Untersuchung der hirnversorgenden Arterien mit Provokationstest. Diese Methode scheint zumindest als Screening-Verfahren geeigneter zu sein.



## **Behandlungsmethoden des PFO**

Das PFO kann mit einem speziellen Katheterverfahren verschlossen werden. Die Indikation wird z.B. dann gestellt, wenn es bereits zu paradoxen Embolien gekommen ist. Der Eingriff wird in der Regel in lokaler Betäubung durchgeführt, in dem von der Leiste aus ein auf einem Katheter befestigter Verschluss-Ring auf beiden Seiten der Vorhofscheidwand im Bereich des Foramen ovale platziert wird.

## **Empfehlungen für Taucher mit PFO**

Planung sicherer Tauchgänge

Vermeidung dekopflichtiger Tauchgänge

Keine tiefen Tauchgänge

Keine Jo-Jo Tauchgänge

Große Pausen zwischen Tauchgängen

Körperliche Anstrengung nach dem Tauchgang vermeiden

Valsalva Manöver zum Druckausgleich vermeiden, alternativ Schlucken, Kieferbewegungen anwenden

### Literatur:

Eckenhoff RG, Olstad CS, Carrog G (1990) Human dose-response relationship for decompression and endogenous bubble formation. *J Appl Physiol* 69: 914-918

Reul J, Weis J, Jung A et al (1995) Central nervous system lesions and cervical disc herniations in amateur divers. *Lancet* 345 : 1403-1405

Knauth M, Ries S, Pohiman S et al (1997) Cohort study of multiple brain lesions in sports divers: role of a patent foramen ovale. *Br J Med* 314: 701-705

Moon RE, Camporesi EM, Kissla JA (1989) Patent foramen ovale and decompression sickness in divers. *Lancet* 1: 513-514