

# Die Bedeutung des offenen Foramen ovale beim Tauchen

## mit den Empfehlungen 2007 der Schweizerischen Gesellschaft für Unterwasser- und Hyperbarmedizin

Sandra Torti

Kardiologie und Innere Medizin FMH, Diving Medicine Physician EDTC/ECHM, Marsens

### Quintessenz

- Beim offenen Foramen ovale handelt es sich um eine Normvariante, die bei einem Viertel aller Menschen vorkommt.
- Das Risiko des Tauchens mit einem offenen Foramen ovale ist gering.
- Das wirkliche Risiko ist nicht das offene Foramen ovale, sondern es sind die zirkulierenden Gasblasen, welche erwiesenermassen nach jedem längeren Tauchgang entstehen.
- Ein routinemässiges PFO-Screening bei Freizeit- wie auch Profitauchenden wird nicht empfohlen.
- Tauchern mit zufällig bekanntem offenem Foramen ovale soll zum Einhalten der 15 Regeln des «low bubble diving» gemäss den Empfehlungen 2007 der SUHMS geraten werden. Für diese Beratung braucht es Erfahrung in Tauchmedizin.
- Nach einem Tauchunfall ist eine ausführliche Ursachenabklärung durch einen erfahrenen und speziell ausgebildeten Tauchmediziner angezeigt. Ein allfälliger PFO-Verschluss soll im Individualfall mit den persönlichen Bedürfnissen und den mit dem Eingriff verbundenen kurz- und langfristigen Risiken streng abgewogen werden.
- Der Einfluss allfälliger Rechts-Links-Shunts beim Tauchen, wie eines offenen Foramen ovale oder der schwieriger nachweisbaren pulmonalen Shunts, wird weiterhin untersucht



### Einführung

#### Physiologie

Das Foramen ovale ist eine klappenartige Verbindung zwischen dem rechten und linken Vorhof des Herzens. Durch diese in der Embryonalphase unentbehrliche Öffnung fliesst das Blut bis unmittelbar vor der Geburt unter Umgehung des Lungenkreislaufes. Mit dem ersten Atemzug, der die Lungen entfaltet, wird aber diese Kurzschlussverbindung unnötig sowie das Foramen ovale überflüssig. In den ersten Lebensjahren verklebt oder verschliesst es sich bei etwa drei Vierteln aller Menschen. Bei den andern bleibt diese Klappe «wie eine Türe angelehnt» [1]. Beim offenen Foramen ovale (PFO) handelt es sich also um eine Normvariante, die bei einem Viertel aller Menschen vorkommt.

Unter natürlichen Bedingungen kann aufgrund der lokalen Strömungsverhältnisse kaum etwas durch das PFO gelangen. Nach vorgängig längerer Druckerhöhung im Brustraum (während mehrerer Sekunden) kann im rechten Vorhof ein genügend hoher Überdruck entstehen<sup>1</sup>, damit sich diese «Tür» öffnet und so kleinere Blutmengen in die linke Herzhälfte passieren können, unter Umgehung des Lungenfilters.

### Die Rolle des offenen Foramen ovale beim Tauchen

1989 wurde erstmals ein Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein eines PFO und dem Auftreten der Dekompressionskrankheit beschrieben [2]. Beim Tauchen entstehen dekompressionsbedingt Mikrobläschen, die nach dem Transport in der venösen Strombahn idealerweise im Lungengewebe gefiltert und dann abgeatmet werden. Gelangen unter obgenannten Bedingungen Bläschen durch ein PFO direkt in die arterielle Strombahn, umgehen sie den Lungenfilter. Bei weiterer Volumenzunahme (z.B. durch Verminderung des Umgebungsdrucks oder Fusion mehrerer Bläschen) und wahrscheinlich auch durch Aktivierung humoraler und anderer biochemischer Vorgänge können sie im arteriellen Systemkreislauf zu Embolien führen. Dies kann beim Auftreten an kritischer Lokalisation einen Tauchzwischenfall provozieren, was allerdings sehr selten vorkommt. Es haben längst nicht alle Taucher mit einem PFO Tauchzwischenfälle.

<sup>1</sup> Die Bauchpresse erhöht den Druck im Brustraum und verhindert den Zufluss von venösem Blut in den Brustraum. Bei genügend langer Dauer der Bauchpresse staut sich eine relevante Blutmenge in den venösen Gefässen ausserhalb des Brustraums an. Dieses «gestaute» Blut dringt nach der Druckentlastung im Brustraum mit Überdruck in den rechten Vorhof ein: Das PFO kann sich während dieses verstärkten, von rechts kommenden Flusses öffnen. Der wesentliche Parameter im Hinblick auf die Druckumkehr in den Vorhöfen ist die Zeit, über die der Druck aufrechterhalten wird.

Der Tauchzwischenfall mit offenem Foramen ovale wird möglich, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

1. Es braucht eine genügend grosse Menge Mikrobäschen oder Stickstoffsättigung.
2. Es braucht eine genügend kräftige Druckerhöhung im rechten Vorhof [1] mit vorgängig länger dauernder Druckerhöhung im Brustraum [3].
3. Es braucht ein genügend grosses PFO [4].
4. Es müssen angeschwemmte wie auch vor Ort entstandene Mikrobäschen an einem kritischen Ort den Blutfluss beeinträchtigen.
5. Die Volumenzunahme der Mikrobäschen oder rasche Aufstiegs geschwindigkeit (bezüglich N<sub>2</sub>-Entsättigung) erhöhen das Risiko zusätzlich.
6. Die Voraussetzungen 1–4 müssen gleichzeitig erfüllt sein.

### PFO-Verschluss

Aus medizinischen Gründen wird gelegentlich ein PFO verschlossen. Bis vor einigen Jahren war dies zwingend mit einer Herzoperation und entsprechend hohen Risiken, Beschwerden und Kosten verbunden. Es ist heute möglich, ein PFO durch Einbau einer kleinen Metallprothese ins Herz («PFO-Schirm») zu verschliessen. Diese wird innerhalb weniger Monate im Herzen endothelialisiert und bleibt zeitlebens dort. In spezialisierten Herzzentren erfolgt die Implantation durch einen transluminalen Zugang und bedarf lediglich einer Kurzhospitalisation. Mit dem Fortschritt des Materials, der Technik und der Erfahrung invasiver Kardiologen sind die Risiken dieses Eingriffs auf unter ein Prozent gesunken [5]. Über die Langzeitrisiken liegen allerdings kaum Daten vor, da es sich um eine neue Methode handelt.

### Shunt-Risiko nach PFO-Verschluss

Sechs bis zwölf Monate nach Verschluss mittels PFO-Schirm besteht im Bläschentest bei 10% der Patienten unter Valsalva-Manöver ein Restshunt [6]. Eine gewisse Filterwirkung darf dennoch angenommen werden. Je nach Datenquelle finden sich aber in 10 bis 70% der Menschen (schwieriger nachweisbare) arteriovenöse Shunts in den Lungen. Diese können unverändert weiterhin den Übertritt von Mikrobäschen in den Systemkreislauf ermöglichen. Es gibt weiter vielfältige Hinweise darauf, dass durch die Bildung von Mikrobäschen eine Aktivierung humoraler und anderer biochemischer Vorgänge eingeleitet wird, welche die rheologischen Eigenschaften der Mikro zirkulation verändert [12].

Eine erste prospektive Studie zeigte nach PFO-Verschluss bei Tauchern in drei Jahren keinen Benefit durch die Intervention [7].

### Stand der Tauchforschung betreffend die Rolle des PFO

Es gibt vor allem retrospektive Studien. Deren Schwachpunkt ist, dass sie uns keinen Aufschluss über das relative Risiko im Zusammenhang mit dem PFO geben können, da nur Personen untersucht wurden, die bereits eine Dekompressionskrankheit (DCS) erlitten hatten. Das heisst, wir wissen nicht, wie viele Tauchende ohne PFO keine Unfälle hatten. Dieser systematische Fehler verbietet, Ergebnisse zur Bewertung des DCS-Risikos für Tauchende mit PFO heranzuziehen. In systematisch besseren «Matched Pairs»-Studien wurde bei Patienten mit PFO eine grössere Häufigkeit zerebraler DCS beobachtet. Das bedeutet aber nicht, dass das Vorhandensein eines PFO die Ursache der Zwischenfälle ist, sondern eher, dass es ein potentielles Risiko darstellt. Die Ursachen sind immer Blasen!

Die grösste Metaanalyse [8] zeigt, dass die Methoden zur Untersuchung des PFO nicht standardisiert sind, weshalb es schwierig ist, leicht vergleichbare Daten zu erhalten. In einigen Studien wurde beobachtet, dass die Menge Blut, welche durch Pressen durch diesen Shunt übertritt, eine Rolle spielt. Ein kleines PFO zu haben scheint kein grösseres Risiko darzustellen als kein PFO zu haben (siehe fettgedruckte Voraussetzungen oben). Die derzeitigen Schlussfolgerungen von Studien, die sogenannte *Diverspots* (= kleinste Hirnverletzungen, die im MRI des Hirns bei Tauchern häufiger sichtbar sind als bei Nichttauchern) untersuchen, zeigen kein grösseres Vorkommen bei Tauchern mit einem PFO gegenüber Tauchern ohne PFO. Eine auf Fraktalanalyse basierende Arbeit zeigt, dass diese *Diverspots* nicht Folge mikrovaskulärer Embolien sein können [9]. Taucher schie nen aber allgemein häufiger solche kleinste Hirnverletzungen zu haben, wobei wir deren Bedeutung nicht kennen. Es besteht aber der Verdacht, dass eine DCS nicht nur durch direkten Bläschenübertritt verursacht werden kann, sondern auch durch eine Stickstoffwiederaufsättigung des arteriellen Blutes durch Shunts hindurch.

### Können wir feststellen, welches Risiko das PFO bei der Ausübung von Unterwasseraktivitäten darstellt?

Derzeit lautet die Antwort «nein». Wie wir bereits gesehen haben, steht das Risiko in keiner direkten Beziehung, und es scheint geringer zu sein als bisher angenommen. Um eine definitive Antwort auf die letzte Frage zu geben, braucht es prospektive Studien zur Bewertung des relativen Risikos des PFO. An einer solchen Studie wird gearbeitet. Es handelt sich um eine multizentrale, internationale Studie zur Untersuchung des PFO bei Tauchern mittels einer minimalinvasiven Methode, der Doppleruntersuchung an der Halsschlagader [10]. Was die Frage nach dem Risiko des PFO angeht,

ist klar, dass das Risiko relativ gering ist und dass das wirkliche Risiko nicht das PFO, sondern die zirkulierenden Gasblasen sind.

### Empfehlungen 2007 der Schweizerischen Gesellschaft für Unterwasser- und Hyperbarmedizin<sup>2</sup>

#### Bei unbekanntem PFO

Ein routinemässiges PFO-Screening bei Freizeit- wie auch Profitauchenden wird nicht empfohlen.

#### Bei zufällig bekanntem PFO

PFO Grad I: Die Empfehlungen sind die gleichen wie für Tauchende ohne PFO.

PFO Grad II und III: Tauchen nach den Regeln des «low bubble diving».

Diese Empfehlung erlangt zusätzliches Gewicht bei PFO-III-Tauchern, falls diese schon längere Zeit ohne Probleme getaucht sind.

#### Nach Tauchzwischenfall

Nach unverdienter DCI muss in jedem Fall eine ausführliche Ursachenabklärung durch einen erfahrenen und speziell ausgebildeten Tauchmediziner erfolgen.

Nach Therapieabschluss eines Tauchunfalls erfolgt die Beurteilung der Tauchtauglichkeit grundsätzlich nach den Empfehlungen im Tauchtauglichkeitsmanual SUHMS [11].

Wird das PFO mit überwiegender Wahrscheinlichkeit als Ursache der DCI beurteilt, ist die Tauchtauglichkeit weiterhin nach den Regeln des «low bubble diving» gegeben.

Im Falle eines weiteren Ereignisses besteht keine Tauchtauglichkeit mehr bis zur erneuten ausführlichen Ursachenabklärung.

Die allfällige Empfehlung zum PFO-Verschluss muss im Individualfall mit den persönlichen Bedürfnissen des Tauchers und den mit dem Eingriff verbundenen kurz- und langfristigen Risiken im Gespräch abgewogen werden.

Die Kostenfrage bleibt zu klären.

#### Literatur

- Hagen PT, Scholz DG, Edwards WD. Incidence and size of patent foramen ovale during the first 10 decades of life: an autopsy study of 965 normal hearts. *Mayo Clin Proc.* 1984; 59:17–20.
- Moon RE, Camporesi EM, Kisslo JA. Patent foramen ovale and decompression sickness in divers. *Lancet.* 1989;1:513–4.
- Balestra C, Germonpre P, Marroni A. Intrathoracic pressure changes after Valsalva strain and other maneuvers: implications for divers with patent foramen ovale. *Undersea Hyperb Med.* 1998;25:171–4.
- Torti SR et al. Risk of decompression illness among 230 divers in relation to the presence and size of patent foramen ovale. *EHHJ.* 2004;25:1014–20.
- Wahl A, Windecker S et al. Percutaneous closure of patent foramen ovale: impact of device design on safety and efficacy. *Heart.* 2004;90(2):186–90.
- Windecker S et al. Comparison of medical treatment with percutaneous closure of patent foramen ovale in patients with cryptogenic stroke. *J Am Coll Cardiol.* 2004;44(4):750–8.

### 15 Regeln des «low bubble diving»: Empfehlungen 2007 der SUHMS<sup>2</sup>

Das Tauchen nach den Regeln des «low bubble diving» hält die Bläschenzahl tief (1–12) und vermindert den Übertritt allfälliger Bläschen in die arterielle Strombahn (13–15).

- Mit grösster Tiefe den Tauchgang beginnen.
- Keine Jojo-Tauchgänge (kein wiederholtes Auftauchen im 10-m-Bereich).
- Aufstiegsgeschwindigkeit in den oberen 10 Metern auf 5 m/min reduzieren.
- Sicherheitshalt in 3 bis 5 Metern Tiefe während mindestens 5 bis 10 Minuten.
- Nullzeitgrenzen nicht ausreizen, keine Deko-Tauchgänge.
- Mindestens Oberflächenintervall bis zum nächsten Tauchgang.
- Maximal zwei Tauchgänge pro Tag.
- Zwei Stunden Wartezeit bei geplantem Wechsel in eine höhere Höhe über Meer.
- Meiden von grosser Hauterwärmung nach dem Tauchgang (z.B. Sonnenbad, warme Duschen, Sauna).
- Kälte, Dehydratation und Rauchen vermeiden.
- Tauchen mit Nitrox nach Lufttabellen. (Beachte O<sub>2</sub>-Toxizität!)
- Spezielle Tauchcomputer resp. Software vermindern das Risiko.
- Keine Anstrengungen in den letzten 10 Metern des Aufstiegs. Also körperliche Arbeiten unter Wasser sowie Strömung am Ende des Tauchganges meiden.
- Keine Anstrengungen in den ersten zwei Stunden nach dem Tauchgang. Also das Gerät im Wasser ausziehen und von Helfenden herausheben lassen. Anstrengungsfreier Ausstieg an Land oder ins Boot (keine Pressen!). In dieser Zeit kein schweres Tauchmaterial herumtragen oder das Jackett an der Oberfläche mit dem Mund aufblasen.
- Absolutes Tauchverbot bei Erkältungen (Husten oder Forcieren des Druckausgleichs fördert den Übertritt von Bläschen).

<sup>2</sup> Diese Empfehlungen sind als Flyer in den drei Sprachen Deutsch, Französisch und Italienisch unter [www.suhms.org](http://www.suhms.org) erhältlich.

- Zbinden R, Billinger M, Remonda L, et al. Percutaneous closure of patent foramen ovale in divers: incident of decompression illness at 1- and 3-year follow-up. Abstract SGK 2007.
- Bove AA. Risk of decompression sickness with patent foramen ovale. *Undersea Hyperb Med.* 1998;25:175–8.
- Balestra C, Germonpre P, Marroni A. The fractal approach as a tool to understand asymptomatic brain hyperintense MRI signals. *Fractals.* Vol 11, No 4 (2003) 1–6.
- Halsschlagader-Dopplermessung: Ermittlung des DCS-Risikos bei Tauchern mit offenem Foramen Ovale, Divers Alert Network, DAN Europe Research Division [www.daneurope.org](http://www.daneurope.org).
- Tauchtauglichkeitsmanual GTÜM, ÖGTH, SGUHM, Ed. 2001.
- Nossum V, Koteng S, Brubakk AO. Endothelial damage by bubbles in the pulmonary artery of the pig. *Undersea Hyperbaric Med.* 1999;26:1–8.