

Réflexions sur le foramen ovale perméable chez les plongeurs scaphandre ayant fait un accident de désaturation.

Plan

Enquête sur la fermeture du foramen ovale perméable auprès des centres de cardiologie interventionnelle français

Les résultats

Enquête auprès des centres hyperbares de l'ICHF sur la prise en charge des accidents de désaturation.

Ce que je retiens de ces registres :

Discussion

1. Mécanismes sous-jacents aux accidents de désaturation.
2. Position du problème.
3. Indication de fermeture des FOP hors ADD.
4. ADD et FOP : attitude retenue de principe en France pour le plongeur loisir.
5. A titre d'exemple ci-dessous 1 cas clinique présenté dans le JACC bien loin de nos pratiques françaises.
6. Statistiques sur l'incidence du FOP dans la population générale et chez les plongeurs.
7. Méthodes de diagnostic du FOP : échocardiographie et épreuves fonctionnelles.
8. Recommandations pour l'évaluation préventive du FOP chez les plongeurs.
9. Association entre FOP et accidents de désaturation.
10. Fermeture du Foramen Ovale Perméable : Risques et suivi à long terme.
11. Le risque d'arythmies atriale à long terme.
12. Recommandations actuelles des organismes médicaux sur la prise en charge des plongeurs avec FOP.

Conférences de consensus sur la fermeture de FOP

- Histoires vécues :

La question économique

Conclusion

Bibliographie

Réflexions sur le foramen ovale perméable chez les plongeurs scaphandre ayant fait un accident de désaturation.

L'interrogation sur la conduite à tenir vis-à-vis d'un foramen ovale perméable (FOP) chez les plongeurs scaphandre ayant subi un accident de désaturation (ADD) revêt une importance cruciale dans le domaine de la médecine hyperbare. Cette question est régulièrement soulevée aussi par les cardiologues interventionnels.

Alors que la plongée en bouteille offre des expériences fascinantes, elle expose également les plongeurs à des risques inhérents tels que les accidents barotraumatiques et de désaturation.

L'existence des ADD (1) est connue de longue date et les processus d'adaptation notamment avec dans un premier temps les tables de plongée et maintenant des ordinateurs avec des modèles de décompression validés permettent de limiter au maximum le risque d'accident.

Concernant l'apparition de ces accidents il faudra différencier deux situations :

- Soit dans le cadre de non-respect de la vitesse de remontée de paliers obligatoires non faits par exemple. Ceci pouvant survenir de manière involontaire dans le cadre d'un accident ou d'un problème technique en profondeur : ou par ignorance des fondamentaux de base de la plongée sous-marine
- Soit de manière imprévisible alors que les procédures de désaturation sont réalisées de manière optimale chez des plongeurs expérimentés. Pour ce dernier cas certains appellent ce type d'accident des accidents « immérités » bien qu'en reprenant un interrogatoire très rigoureux on pourra trouver parfois des facteurs confondants favorisant cet ADD.

Afin de pouvoir réfléchir sur cette question il m'a semblé opportun d'interroger les centres de cardiologie interventionnelle sur leur activité concernant les fermetures de FOP et d'autre part les centres francophones de médecine hyperbare sur leur attitude vis-à-vis des ADD et la recherche de FOP.

Enquête sur la fermeture du foramen ovale perméable auprès des centres de cardiologie interventionnelle français

Au niveau national lors du congrès High Tech qui se tient chaque année en janvier sont présentés les résultats de l'activité de l'ensemble des centres de cardiologie interventionnelle français.

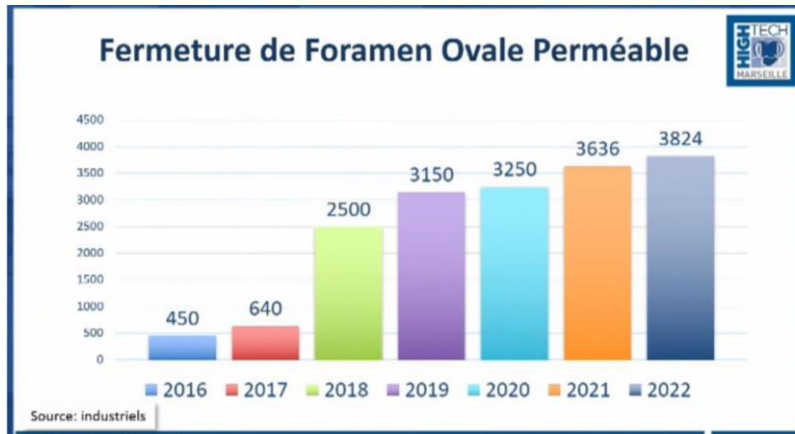
Comme on le voit sur la diapositive ci-dessous il existe une augmentation significative du nombre de fermetures depuis 2017 pour atteindre un plateau de l'ordre de 3800 interventions par an.

Ceci s'explique avec les résultats des études (2) mettant en évidence le bénéfice de la fermeture dans le cadre des accidents vasculaires cryptogéniques.

Ces procédures sont réalisées par les cardiologues interventionnels ou des cardio pédiatres.

Plus d'une quarantaine de centres pratiquent cette activité.

Les résultats sont issus soit de données déclaratives par les centres interventionnels soit par les sources fournies par l'industrie.



Une enquête a été envoyée par mes soins auprès des centres à haut volume fermant au moins une centaine de foramen ovale perméable de manière annuelle.

Les questions posées étaient sur le volume d'activité, les indications et complications sur les 3 dernières années

Indications :

- Neurologique dans le cadre d'accident cryptogénique de moins de 60 ans
- Syndrome de platypnée orthodéoxie
- Embolie artérielle paradoxale
- Accident de désaturation chez un plongeur professionnel
- Accident de désaturation chez le plongeur loisir
- Migraines

le type et la fréquence des complications, intervention sous anesthésie générale

Les résultats

10 centres ont participé à ce registre déclaratif : Marseille, Montpellier, Saint-Étienne, Rouen, Nantes, Toulouse, Besançon, Marie Lannelongue, Bichat et Rennes.

Sur les années 2020, 2021 et 2022 : 2514 foramen ovale ont été fermés.

L'indication principale est essentiellement l'accident vasculaire cérébral de type cryptogénique :

- 2229 procédure soit 88 %
- Les autres indications sont réparties comme suit :
 - o 173 dans le cadre d'un syndrome de platypnée orthodéoxie. (7%)
 - o 117 dans le cadre d'une embolie artérielle. (3%)
 - o 27 plongeurs professionnels ont eu un foramen ovale fermé
 - o 16 chez le plongeur loisir.

Il est possible que ce nombre soit sous-estimé concernant les plongeurs loisir. En effet certaines indications ont pu basculer dans le groupe accident neurologique quoi qu'il en soit quand l'on regarde le pourcentage ou le nombre de patients : 27 qui sont plongeurs professionnels et qui ont une fermeture de FOP cela reste minime au regard de l'activité globale.

Même en doublant le nombre de plongeurs loisir ayant eu réellement un foramen ovale perméable fermé dans le cadre d'un accident de désaturation ce chiffre reste < 2 % des procédures réalisées.

Le nombre de complications déclarées paraît elle aussi excessivement faible.

On retiendra essentiellement : quatre migrations de prothèse ayant nécessité un geste soit de récupération par voie endocavitaire soit de chirurgie 0,1 % des procédures.

Les complications hémorragiques sont extrêmement rares : 2 patients et 1 faux anévrisme

La problématique de la fibrillation auriculaire persistante c'est-à-dire présente un mois après l'intervention est retrouvée toujours en déclaratif chez 14 patients parmi la population.

Enfin, on notera un décès de cause non cardiologique et sans rapport avec l'intervention

Les résultats de ce registre sont bien sûr à prendre sous réserve car il s'agit d'éléments déclaratifs rétrospectifs avec absence de base de données commune. Néanmoins, il montre bien que d'une part dans les centres à haut volume le risque de complications s'avère relativement bas et en dessous de ce qui est rapporté dans les études de référence qui se basait sur l'activité de centres dont le volume était inférieur à ceux réalisés actuellement

La notion de courbe d'apprentissage et l'évolution du matériel permet de réduire grandement le risque des complications grave et c'est l'histoire de la cardiologie interventionnelle qui en témoigne.

Il suffit de se reporter aux résultats de l'angioplastie à la phase aiguë de l'infarctus entre les années 1990 et 2023.

Même constatation concernant l'implantation de valve aortique par voie percutanée passant de 85% de succès en 2010 à maintenant plus de 95% permettant d'élargir les indications de TAVI à tous les patients à partir de 75 ans comme choix de première intention selon les recommandations européennes (65 ans aux USA)

Enquête auprès des centres hyperbares sur la prise en charge des accidents de désaturation.

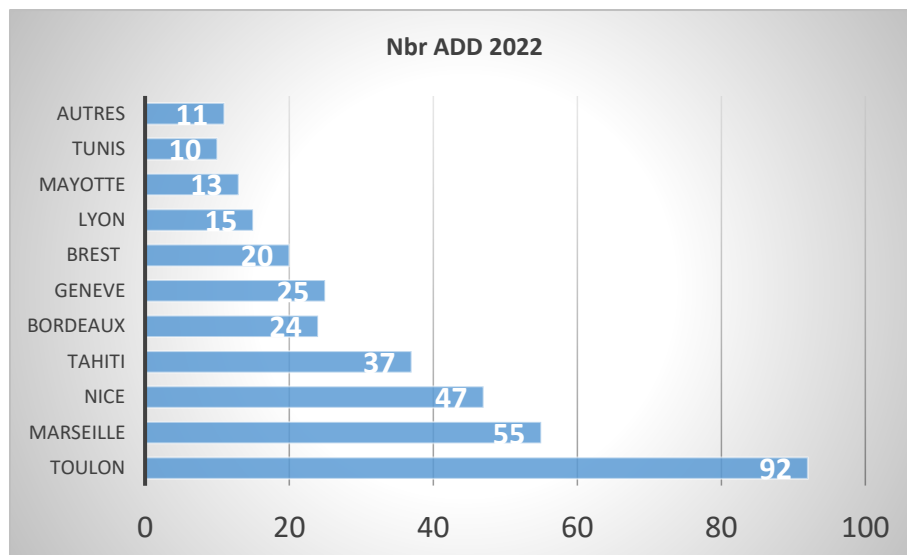
Un questionnaire a été envoyé à l'ensemble des centres francophone par l'intermédiaire de l'ICHF afin d'évaluer la fréquence des ADD pris en charge au cours de ces trois dernières années et le type d'accident, la recherche d'un FOP et la conduite à tenir ainsi que les éventuelles récidives d'accident.

Des réponses descriptives ont pu être obtenues auprès de 15 centres européens francophones avec des activités variables en terme d'ADD selon la localisation du centre.

Le pourtour méditerranéen, atlantique et de la manche ainsi que Tahiti et Mayotte nous ont permis de recenser sur l'année 2022 un nombre de 349 ADD authentifiés ayant eu recours à une procédure de recompression.

Les chiffres sont bien sûr variables selon les centres avec des activités variant de 90 et 0.

Ce nombre est stable au cours des trois dernières années tout en notant bien sûr un nombre plus faible en rapport à la crise COVID de 2020.



Concernant la recherche de FOP au cours de l'hospitalisation :

Celle-ci n'est pas réalisée de manière systématique, la plupart proposant une recherche à distance sauf dans 3 centres (par voie trans crânienne) ou celle-ci est faite de manière systématique.

Une recherche systématique est demandée dans un second temps essentiellement dans le cadre d'accident de type vestibulaire, cérébral, cutané de type cutis marmorata, atteinte médullaire (haute ?)

Les retours concernant les résultats confirment ce que l'on pensait à savoir que dans les atteintes cutanées la présence d'un FOP est quasi constante à +90 %, dans le cadre d'atteinte de l'oreille interne dépassant les 60 à 70 %. Dans le cas d'atteinte médullaire, la fréquence d'un FOP est retrouvée de l'ordre de 35 à 45 %.

Les méthodes d'évaluation sont aussi variables selon les centres et il est proposé que soit réalisé en externe une échographie trans thoracique plus ou moins associée à une échographie transœsophagienne.

Concernant les propositions de fermeture du FOP : pour les plongeurs professionnels elle est proposée si les adaptations de poste semblent peu ou pas réalisables.

Concernant le plongeur loisir, de principe les restrictions et recommandations pour diminuer le profil bullaire sont proposées. Certains plongeurs sont néanmoins demandeurs de fermeture, auquel cas le patient pourra alors consulter une équipe de cardiologie pour envisager cette possibilité.

Dans l'état de nos connaissances, il n'est pas possible de savoir combien de plongeurs loisir ont eu une fermeture de foramen ovale perméable.

Il est important de noter que sur l'ensemble des ADD rapportés dans cette série, qui n'a pas de valeur qu'informative, La récurrence d'ADD chez des plongeurs appliquant les restrictions semble tout à fait exceptionnelle: 5 cas.

Certains plongeurs ont eu une fermeture d'un FOP et quelques très rares cas de récurrence ont été notés ce qui implique bien évidemment la notion de shunt restant perméable ou que le foramen ne soit pas le seul élément responsable de l'accident de désaturation.

Il ne me semble pas raisonnable, compte tenu de ces éléments rétrospectifs que l'on puisse en tirer des conclusions statistiques significatives. Néanmoins, je pense qu'il est intéressant de souligner les points suivants :

- Le nombre stable des ADD au niveau des centres francophones : de l'ordre d'environ 350 cas par an.
- Chaque centre a ses habitudes concernant la recherche du FOP avec intérêt du doppler transcrânien en phase aiguë et de la recommandation d'une échographie transthoracique avec test aux bulles et manœuvre de Valsalva à distance.

La recherche systématique après analyse n'est pas systématique mais clairement il y a un lien de causalité entre FOP et accident cutané, accident vestibulaire, neurologique et possiblement médullaire haut.

Les centres de médecine hyperbare restent très prudents quant à la proposition de fermeture chez un plongeur loisir

–Autre point intéressant : la récurrence d'ADD après application des restrictions est tout à fait exceptionnelle traduisant l'importance de la réduction de production de bulles

– De même la récurrence d'ADD chez des plongeurs et ayant eu un FOP fermé est elle aussi exceptionnelle mais quoi qu'il en soit le nombre de plongeurs reste très limité.

Ce que je retiens de ces registres :

Concernant la pratique des cardiologues interventionnels, on a tendance à penser que la fermeture d'un FOP chez un plongeur loisir n'est pas une pratique plutôt rare.

Les résultats et la sécurité du geste semblent plutôt rassurants eu égard les indications de fermeture de FOP chez des patients atteints d'accidents vasculaires cérébraux de type cryptogénique de moins de 60 ans. Le bénéfice attendu ne doit pas être grevé par des complications fréquentes : rapport bénéfice/risque.

Concernant les pratiques des centres hyperbares cette enquête a permis d'avoir une estimation du nombre d'accident de désaturation, des techniques de prise en charge et d'autre part le type de moyens de recherche de FOP et l'importance de le rechercher dans certaines indications de type II.

La proposition de fermeture chez le plongeur loisir est dans le sens des recommandations et doit être discuté au cas par cas entre le patient, le cardiologue interventionnel, le cardiologue traitant et médecin hyperbare.

Par contre, il est important de noter l'absence ou quasi absence de récurrence d'ADD chez des plongeurs appliquant les règles de limitation de production de bulles.

Extrapolation des résultats :

– Si l'on estime de l'ordre de 350 par an le nombre d'ADD, les risques liés à la procédure interventionnelle ainsi que le bon fonctionnement des règles de restrictions et que, par ailleurs, il est réalisé actuellement une vingtaine de fermetures par an chez des plongeurs loisir, on peut alors s'interroger sur un élargissement des indications dans le respect des bonnes pratiques. A titre d'exemple, le plongeur loisir ayant un niveau d'encadrement ou de formation type moniteur fédéral, Dive Master, guide de palanquée qui souhaite continuer à réaliser de la formation en plongée sous-marine. En effet, le risque de récurrence compte tenu du type de plongées est reconnu comme plus accidentogène.

Il est très probable que si ont élargi, et de manière raisonnée, les indications de fermeture de FOP chez le plongeur loisir cela ne dépassera pas une cinquantaine de patients par an par rapport au plus de 3800 interventions annuelles ...

Questions non élucidées et qui sont régulièrement posées par des plongeurs vus en consultation :

- « Ayant fait un accident de désaturation sans faute de procédure et ayant un foramen ovale perméable ai-je un risque supérieur à la normale de faire un accident vasculaire cérébral de type cryptogénique ? » À ce jour il n'y a pas de réponse à cette question qui paraît néanmoins tout à fait légitime même si les mécanismes sont différents.
- Association migraine, ADD : ce parallèle est n'est pas rare dans les accidents cryptogéniques ou les patients ont parfois un long passé migraineux...
- « Ayant fait un accident de désaturation sans faute de procédure et ayant un foramen ovale perméable je plonge depuis longtemps et souvent dans des lieux éloignés de tout centre hyperbare : puis je « bénéficier » d'une fermeture de FOP »

Discussion

1. Mécanismes sous-jacents aux accidents de désaturation.

Les accidents de désaturation sont des événements complexes qui surviennent chez les plongeurs en bouteille lors de la remontée vers la surface. Ces accidents sont principalement attribués à la dissolution de l'azote dans le sang à mesure que la pression ambiante diminue pendant la remontée.

Pendant la plongée, l'azote est absorbé par les tissus corporels en raison de l'élévation de la pression hydrostatique. Lorsque le plongeur entame sa remontée, la pression diminue et l'azote dissous commence à se libérer sous forme de microbulles et éliminées par le filtre pulmonaire.

Les modalités de décompression ont permis d'établir dans un premier temps sur les bases des travaux d'Haldane la nécessité d'avoir une remontée à vitesse de l'ordre de 10 m/min afin que les microbulles puissent être éliminées (3)

Ceci fait appel au principe de la loi de Boyle Mariotte (4) rappelant $P \cdot V = \text{constante}$.

Intervient aussi la loi de dissolution des gaz de Henry (4): A température constante et à saturation, la quantité de gaz dissoute dans un liquide est proportionnelle à la pression de ce gaz au-dessus de ce liquide.

Ces microbulles peuvent se former dans les tissus, le sang et les articulations, et si elles ne sont pas éliminées correctement, elles peuvent engendrer des symptômes variés allant de la fatigue et des douleurs articulaires à des manifestations plus graves comme des troubles neurologiques. La physiopathologie des accidents de désaturation implique également la vasoconstriction, qui peut réduire le flux sanguin vers certaines zones du corps, favorisant ainsi la coalescence des microbulles et augmentant le risque de complications. L'interaction complexe (5) entre la décompression, les gaz dissous et la circulation sanguine fait des accidents de désaturation un domaine de recherche essentiel dans la médecine hyperbare, afin de mieux comprendre et prévenir ces événements potentiellement dramatiques pour les plongeurs.

2. Position du problème.

Concernant la plongée loisir, l'incidence d'accident de désaturation est faible de l'ordre de 0,4 à 1 cas pour 10 000 plongées. (6,7)

Le risque est par contre favorisé par des plongées profondes de plus longue durée, l'absence de respect des procédures de remontée avec éventuellement rupture de paliers.

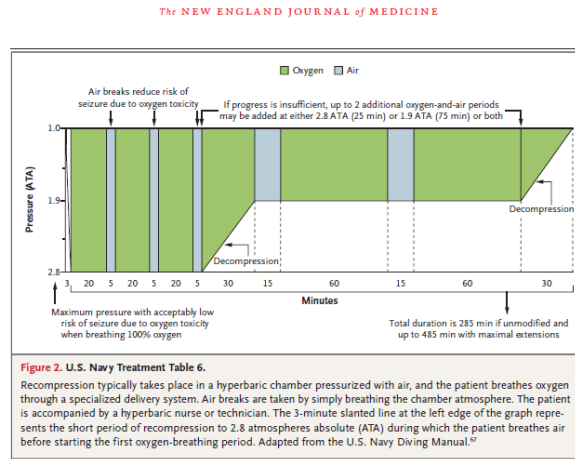
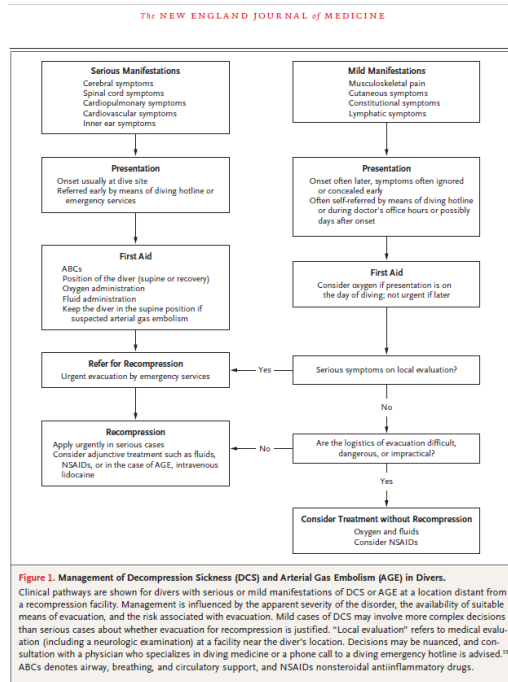
Néanmoins un certain nombre d'accidents ne retrouve pas de cause documentée.

On ne reviendra pas dans cette présentation sur les descriptions des différents types d'ADD qu'il s'agissait de type I ou II la plupart des accidents de plongée surviennent dans l'heure qui suit le retour à la surface dans 73 % des cas mais peut aller jusqu'à 6,12 voire 24 heures après l'immersion (8)

La prise en charge est maintenant bien codifiée. Un arbre décisionnel de prise en charge présenté ci-dessous et extrait de l'article du New England journal of médecine (9)

La recherche d'un foramen ovale perméable se discutera secondairement en fonction du type d'ADD.

L'utilisation des tables U.S. Navy V1 est préconisée (10).



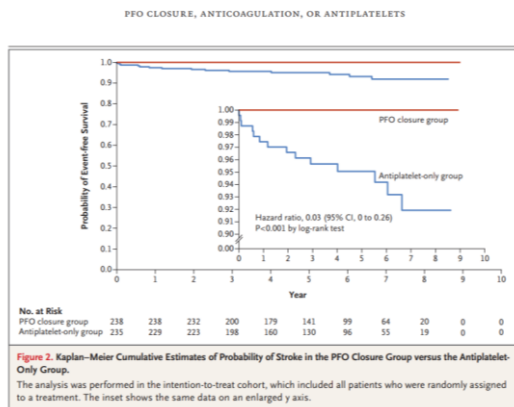
La question posée est de savoir si l'on doit ou peut proposer à une certaine population de plongeurs la fermeture FOP après un ADD de type II et est ce envisageable en dehors du plongeur professionnel n'est pas abordée ouvertement dans cet article.

3. Indication de fermeture des FOP hors ADD.

La fermeture de FOP est réalisée de longue date dans certaines indications à savoir l'existence d'un accident vasculaire cérébral cryptogénique avec bilan entièrement négatif et présence d'un shunt significatif de manière spontanée ou après Valsalva éventuellement associé ou non à un anévrisme du septum inter atrial. Il a fallu attendre les résultats de l'étude Close (10) pour que cette indication soit définitivement validée dans l'infarctus cryptogénique de 16 à 60 ans.

Dans cette étude au total, 663 patients ont été randomisés et suivis pendant une moyenne de $5,3 \pm 2,0$ années. Dans l'analyse des groupes de randomisation, aucun accident vasculaire cérébral n'est survenu parmi les 238 patients du groupe avec fermeture du FOP, alors qu'un accident vasculaire cérébral est survenu chez 14 des 235 patients du groupe antiplaquettaire uniquement ($P < 0,001$).

Des complications procédurales liées à la fermeture du FOP sont survenues chez 14 patients (5,9 %). Le taux de fibrillation auriculaire était plus élevé dans le groupe avec fermeture du FOP que dans le groupe avec antiplaquettaires seuls (4,6 % contre 0,9 %, $p=0,02$). Le nombre d'événements indésirables graves ne différait pas significativement entre les groupes ($p=0,56$).



D'autres indications sont retenues notamment pour les syndromes de platypnée orthodéoxie et les embolies paradoxales graves (type Infarctus à coronaires saines rentrant dans le cadre des MINOCA)
L'amélioration des techniques au cours du temps avec une approche interventionnelle a permis d'obtenir de bons résultats au prix de complications faibles.

4. ADD et FOP : attitude retenue de principe en France pour le plongeur loisir.

À ce jour, il est proposé pour le plongeur souhaitant reprendre ardemment son activité de diminuer au maximum le risque d'accident en évitant un certain nombre de situations favorisant le passage de bulles et en respectant des règles mentionnées (11) faisant état essentiellement bien sûr de l'interdiction d'efforts en post plongée, le respect de la courbe de sécurité, limitation de la profondeur à 30 M, plonger avec un mélange enrichi en oxygène, intervalle surface supérieure à 12h00

Il s'est posé alors la question de savoir chez un patient qui respecte ces règles s'il existe un risque de récurrence. Les attitudes ne sont pas consensuelles au niveau européen et mondial jusqu'à récemment
En France, la fermeture de foramen ovale perméable n'est pas une indication retenue par la HAS (12)
Lorsqu'on regarde les recommandations du DAN (13) l'éventualité doit être discutée de manière collégiale entre le patient, le cardiologue, le médecin hyperbare avec évaluation du rapport bénéfice risque.

DAN
DIVING WITH A
PATENT FORAMEN OVALE (PFO)

WHAT IS A PFO?

- It is a hole in the heart that failed to close properly after birth.
- A "trap door" which can open letting the blood flow into the left atrium and bypassing the pulmonary filter.

27% of people have PFO
6% of people have a large PFO

IMPACT ON DIVERS
A PFO may let Venous Gas Emboli (VGE) pass to the arterial side (shunt) and cause decompression illness.

2.5x Greater risk of developing DCI with PFO

4x Greater risk of neurological DCI

WHAT CAN DIVERS WITH A PFO DO?

- STOP diving
- Dive more conservatively
- Close the PFO

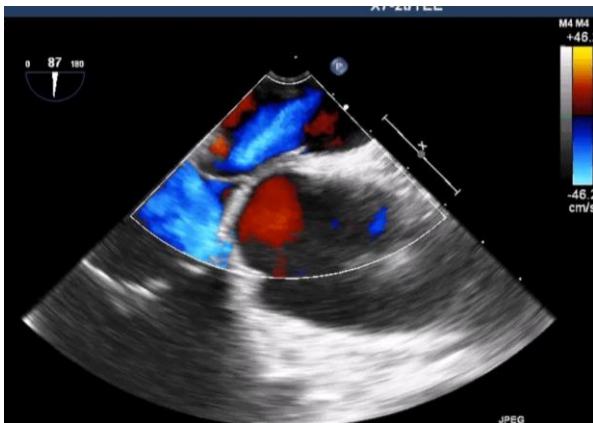
PFO BECOMES A DCI RISK WHEN:

- A PFO is large
- Valsalva-like maneuver opens PFO
- VGE overload
- Target tissue saturated with gas

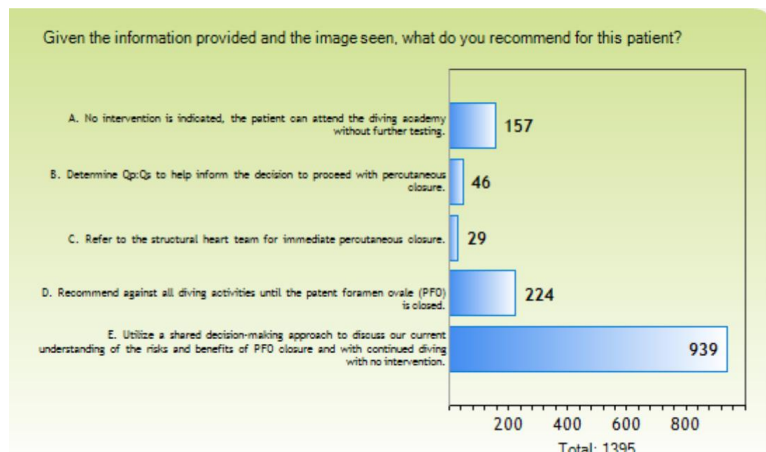
For complete information about PFO and Fitness to Dive, explore DAN's Patent Foramen Ovale and Fitness to Dive Consensus Workshop Proceedings, call DAN's medical information line at +919-684-2948 or explore DAN.org.

5. A titre d'exemple ci-dessous 1 cas clinique présenté dans le JACC (14) bien loin de nos pratiques françaises.

Une femme sans antécédents de 22 ans est référée au centre de cardiopathies congénitales de l'adulte après avoir eu une épreuve de bulles positive sur l'échographie. Il s'agit d'une plongeuse loisir qui prévoit d'assister au Divers Institute of Technology (DIT) et se former à la plongée commerciale. L'échographie a été demandée avant l'inscription en raison de migraines. Elle prend un contraceptif oral mais pas d'autres traitements. Elle n'a pas d'antécédents personnels ou familiaux d'AIT, d'AVC, de syncope ou d'embolie paradoxale. Elle n'a pas d'antécédent d'ADD et respecte les méthodes de décompression. L'électrocardiogramme est normal. Une échographie transœsophagienne (figure 1) a été effectuée avec des images ci-dessous.



La question demandée était de savoir la conduite à tenir vis-à-vis de ce FOP



La bonne réponse est : utiliser une approche de prise de décision partagée pour discuter du rapport des bénéfices/risques sur la décision de fermeture du PFO.

Commentaires des auteurs :

Ce dossier pose la question de la recherche du PFO chez une plongeuse qui se prépare à une carrière de plongée professionnelle.

« Notre patiente plongeait de manière récréative depuis plusieurs années et n'a jamais présenté de symptômes de maladie de décompression. Dans ce cas, une échocardiographie de dépistage n'aurait pas été recommandée. Néanmoins, on a découvert qu'elle souffrait d'un FOP asymptomatique et qu'elle a comme objectif de s'inscrire dans une école de plongée commerciale où les profils de plongée pourraient ne pas être toujours optimales.

Elle souffre également de migraines qui, si elles sont associées à une aura, exposent la patiente à un risque plus élevé d'ADD neurologique. Dans les cas où les preuves font défaut et où une recommandation spécifique n'est pas claire, une prise de décision partagée entre le patient et le médecin doit être envisagée.

Points clés à souligner :

- 1) Il existe un fort consensus : avoir un FOP n'est pas une contre-indication à la plongée,
- 2) Un FOP peut augmenter de manière minimale le risque d'ADD, mais il manque des preuves d'une relation causale entre un FOP et un ADD en prévention primaire,
- 3) Plonger avec des paramètres plus conservateurs constituent probablement une meilleure stratégie pour réduire le risque d'ADD que la fermeture d'un FOP si les restrictions peuvent être appliquées.
- 4) La fermeture percutanée du FOP n'est pas une procédure sans risque et n'élimine pas le risque d'ADD.

Enfin, si la fermeture est réalisée, une période de traitement antiplaquettaire et de confirmation de la fermeture est nécessaire avant de reprendre les activités de plongée.

Compte tenu du désir de notre patiente de plonger commercialement avec une capacité limitée à modifier les tables de plongée et de minimiser potentiellement son risque de futur ADD, elle a choisi de fermer son FOP et qui a été réalisé sans complications liées à la procédure.

6. Statistiques sur l'incidence du FOP dans la population générale et chez les plongeurs.

L'incidence du FOP varie au sein de la population générale et chez les plongeurs en bouteille. Dans la population générale, les études ont montré que le FOP est présent chez environ 20 à 25% (**15,16**) des individus adultes. Cependant, la prévalence du FOP peut varier en fonction de divers facteurs, tels que l'âge, le sexe et la présence de conditions médicales sous-jacentes.

Chez les plongeurs en bouteille, la prévalence du FOP peut être plus élevée que dans la population générale, en particulier chez ceux ayant subi un ADD.

Honek (**17**) a en effet suggéré que le FOP pourrait être plus fréquent chez les plongeurs ayant eu un ADD par rapport à ceux sans antécédents de désaturation. Cependant, il est important de noter que la présence du FOP ne garantit pas automatiquement la survenue d'accidents de désaturation, et de nombreux plongeurs atteints d'un FOP ne subissent jamais de tels accidents. Les facteurs individuels et environnementaux interagissent de manière complexe pour déterminer le risque de désaturation.

La compréhension de ces statistiques est essentielle pour évaluer l'importance clinique du FOP dans le contexte des accidents de désaturation chez les plongeurs en bouteille. Cependant, il convient de noter que les données peuvent varier en fonction des études, de la méthodologie et des populations examinées.

7. Méthodes de diagnostic du FOP : échocardiographie et épreuves fonctionnelles.

Plusieurs méthodes de diagnostic sont disponibles pour évaluer la présence et la perméabilité du FOP chez les plongeurs en bouteille.

L'Echographie Trans Thoracique (ETT) (**18**) reste l'examen de référence pour le diagnostic de foramen ovale perméable. Cet examen est complété par un test aux bulles permettant de visualiser son importance différenciant grade I à III en fonction du nombre de bulles qui circule à chaque cycle cardiaque.

Ce test est répété, associé à une manœuvre de Valsalva qui va soit majorer le passage de bulles soit faire apparaître un passage qui ne se voyait pas de manière spontanée.

Elle permettra aussi d'apprécier l'existence d'un éventuel anévrisme du septum inter atrial.

L'échocardiographie transœsophagienne (ETO) (**19**) est un examen complémentaire qui permet une visualisation directe des structures cardiaques, offrant ainsi une vue détaillée du FOP. Cette méthode permet également de quantifier la taille du FOP, la longueur du tunnel pour l'éventuel choix de la prothèse. Le Valsalva devra être réalisé aussi mais parfois plus difficile à reproduire par le patient.

Elle permettra aussi de faire le diagnostic différentiel avec une CIA.

Le Doppler transcrânien (DTC) peut être aussi utilisé (**20**). Il permet une détection des embolies et est encore plus sensible que l'ETO (96 %) et tout aussi spécifique que l'ETT ou l'ETO, cependant, le DTC ne peut pas détecter des caractéristiques structurelles supplémentaires telles que l'anévrisme septal

auriculaire et sa mobilité septale ni vraiment faire la distinction entre les shunts intracardiaques et intrapulmonaires, comme les malformations artério-veineuses pulmonaires

En pratique, le DTC est souvent réalisé dans le service de médecine hyperbare lorsque le bilan est réalisé au décours de l'accident de désaturation.

Par contre, si le bilan est fait à distance le cardiologue optera plutôt pour ETT +/- complétée secondairement par une ETO

8. Recommandations pour l'évaluation préventive du FOP chez les plongeurs.

À ce jour, l'ensemble de la littérature ne recommande pas de rechercher de foramen ovale perméable chez un plongeur scaphandre n'ayant pas présenté d'accident de désaturation.

En effet, outre les difficultés liées au nombre de plongeurs pratiquant cette activité où il serait impossible matériellement de réaliser ce type d'examen, l'interprétation sera faussement rassurante.

Dans le cas où un FOP ne serait pas repéré, le patient n'est pas du tout à l'abri de faire un ADD par d'autres mécanismes notamment les accidents médullaires favorisés par une ischémie d'amont. On sait par ailleurs que le FOP qui ne s'exprime pas à un instant T pourra s'ouvrir secondairement suite à l'élévation des pressions dans les cavités atriales droites notamment lorsqu'il est à réaliser un Valsalva à la remontée à un effort à glotte fermée en post plongée

Le consensus est donc de ne pas rechercher. Néanmoins, une étude récente (21) a montré le bénéfice de la détection chez des plongeurs pour prévenir l'accident de désaturation à condition de le fermer ... !! Cet article visait à évaluer la survenue d'un ADD après l'application d'une stratégie de dépistage et de stratification du risque du FOP.

Un total de 829 plongeurs consécutifs (âgés de $35,4 \pm 10,0$ ans, 81,5 % d'hommes) a été dépisté pour le FOP au moyen d'une échographie transcrânienne à code couleur dans le registre DIVE-PFO. Les plongeurs présentant un FOP de haut grade se sont vu proposer soit une fermeture du FOP par cathéter (le groupe de fermeture), soit une attitude de plongées « conservatrices » (grades élevés).

Il a été conseillé aux plongeurs porteurs d'un shunt de faible importance de plonger de manière conservatrice tandis que ceux sans PFO ont continué à plonger sans restriction (groupe contrôle).

Un suivi téléphonique a été effectué.

Pour étudier l'effet de la stratégie de dépistage et de stratification du risque, l'apparition de l'ADD avant l'inclusion et pendant le suivi a été comparée.

Résultats : Un suivi était disponible pour 748 (90 %) plongeurs. 702 plongeurs ont continué la plongée et ont été inclus dans l'analyse (suivi moyen $6,5 \pm 3,5$ ans). L'incidence d'ADD a diminué de manière significative dans tous les groupes, à l'exception des groupes témoins.

Au cours du suivi, il n'y a eu aucun ADD dans le groupe de fermeture ; l'incidence d'ADD était similaire à celle des témoins dans le groupe de bas grade (HR : 3,965 ; IC à 95 % : 0,558-28,18 ; P = 0,169) mais est restée plus élevée dans le groupe de haut grade (HR : 26,170 ; IC à 95 % : 5,797- 118,160 ; P < 0,0001).

Pour les auteurs, la stratégie de dépistage et de stratification du risque utilisant l'échographie transcrânienne à code couleur a été associée à une diminution de l'apparition d'ADD chez les plongeurs atteints de FOP. La fermeture du FOP était associée à une survenue d'ADD similaire à celle observée chez les témoins ; la stratégie conservatrice a eu un effet similaire dans le groupe de bas grade, mais dans le groupe de haut grade, l'incidence des ADD est restée plus élevée que dans tous les autres groupes. La découverte d'un FOP chez un patient n'ayant pas présenté d'accident de désaturation posera la problématique de la conduite à tenir vis-à-vis de la plongée sous-marine. En effet, tous ces plongeurs ne vont pas faire un accident de désaturation mais possiblement ont un sur risque à évaluer. Et quelles seront les recommandations à donner à ce plongeur ? Le plus raisonnable serait d'arrêter la plongée sous-marine pour un risque hypothétique d'ADD ? Faut-il appliquer les mêmes recommandations que chez les patients porteurs d'un FOP et qui souhaitent replonger après un accident de désaturation ?

9. Association entre FOP et accidents de désaturation.

Cette relation n'est pas récente. A titre d'exemple cette série publiée en 2003(22):

L'objectif était d'étudier le rôle du shunt droite-gauche avec un Doppler transcrânien standardisé dans une large population de plongeurs référés pour des symptômes d'ADD

101 plongeurs consécutifs présentant des signes cliniques d'ADD ont été comparés à une population témoin apparié en âge, sexe et compétences de plongée.

Sur les 101 plongeurs présentant un ADD de type II, le Doppler transcrânien a détecté un shunt droite-gauche dans 59 cas (58,4 %), alors que les sujets témoins ont démontré un shunt droite-gauche dans 25 cas (24,8 %); $p = 0,09$.

Lorsqu'un shunt droite-gauche a été détecté, il était majeur (défini comme le nombre de signaux transitoires de haute intensité dans l'artère cérébrale moyenne était >20) chez 12 des 25 patients du groupe témoin et chez 49 des 59 patients du groupe ADD ($p < 0,001$).

Les auteurs concluent qu'un shunt majeur de droite à gauche était associé à une incidence accrue d'ADD cochléo-vestibulaire et cérébrale.

Plusieurs études (23,24) ont montré que par rapport aux sujets témoins, les plongeurs qui présentent un ADD sont plus susceptibles d'avoir un shunt de droite à gauche.

Torti et coll. (25) ont évalué 230 plongeurs avec échocardiographie transthoracique de contraste (ETT), à la recherche du FOP. Au total, 63 sujets présentaient un FOP. Les auteurs ont conclu que l'existence d'un FOP est associé à un risque absolu d'avoir 1 ADD d'environ 5/10 000 plongées. Ce risque est cinq fois plus élevé qu'avec des sujets sans FOP. De plus, le risque d'ADD dépend de la taille du PFO ; plus le diamètre du FOP, plus le risque est élevé.

Cependant, les ADD restent assez rares avec une incidence signalée entre 1/1200 et 1/20000 et seulement 1/3 des événements ADD se produisent chez ceux avec un FOP.

Étant donné le faible risque absolu global d'ADD et l'absence d'une relation causale certaine entre un FOP et un ADD ultérieur, les directives actuelles mettent en garde contre le dépistage du FOP chez les plongeurs récréatifs et commerciaux.

La fermeture d'un PFO par voie percutanée n'est pas sans risque. En référence à des études récentes, le risque d'évènements indésirables sont observés chez environ 7% des patients

Il existe des données limitées sur les patients ayant des antécédents d'ADD qui ensuite sont traités par fermeture de PFO.

Dans une étude (26), sur les sept plongeurs qui ont eu une prothèse pour traiter leur FOP, tous sont retournés à la plongée sans récurrence d'ADD au cours des 12 mois.

Une autre étude (27) a comparé 47 plongeurs ayant un FOP perméable non traité à ceux avec des FOP récemment fermés par voie percutanée. Ces patients ont été placés en chambre hyperbare et leur taux bullaire a été évalué selon le code de spencer. Après décompression, un nombre égal de patients dans chaque groupe présentait des bulles de gaz dans le réseau veineux.

Par contre, les bulles artérielles n'ont pas été détectées chez ceux dont le FOP avait été fermé tandis que 30% de ceux avec un FOP perméable avaient des bulles artérielles détectables.

Une étude (28) a été réalisée chez des plongeurs récréatifs ayant des antécédents d'ADD majeurs avec un suivi de 5,5 ans. La fermeture du FOP semblait empêcher la récurrence d'ADD symptomatique sévère et/ou d'ADD cérébral asymptomatique évalué par IRM

Jusqu'à présent il n'y a pas de suivi à plus long terme de cette population mais il est important comme le notent des auteurs que la fermeture du FOP n'élimine pas le risque d'ADD. Il existe en effet des mécanismes autres que les shunts droite-gauche pouvant entraîner ce type d'accident (29)

10. Fermeture du Foramen Ovale Perméable : Risques et suivi à long terme.

La procédure percutanée offre plusieurs avantages, notamment une hospitalisation courte (en ambulatoire), sous anesthésie locale ou générale selon les pratiques des centres

Pour évaluer au mieux les risques d'une procédure de fermeture, on va se baser essentiellement sur les résultats de l'étude Close **(11)** publiée en 2017 déjà évoquée ci-dessus.

Le risque d'arythmie atriale type flutter ou fibrillation 4,6 % soit 11 patients.

Le taux de succès de procédure était évalué par échographie avec recherche d'un shunt résiduel. Dans 93 % des cas il n'existait plus de passage de bulles lors du contrôle.

Concernant les risques potentiels à court et long terme concernant cette procédure interventionnelle, des éléments importants viendront du registre français **AIR FORCE** porté par un PHRC de l'APHP qui prévoit une inclusion de 5000 patients sur 5 ans

Le registre portera sur une population dont les indications d'implantation de prothèse sont laissées à la discrétion des opérateurs soit : AVC cryptogénique, syndrome de platypnée orthodéoxie, embolisation artérielle, accidents de désaturation.

L'objectif principal sera d'évaluer à court terme en phase hospitalière et à long terme les événements après l'implantation.

Les critères principaux de jugement seront essentiellement :

- La récurrence d'accident vasculaire cérébral, les accidents cérébraux transitoires
- Les complications per procédure avec les embolies périphériques ainsi que la fibrillation auriculaire persistante.
- Critères d'évaluation secondaires : incidence de survenue des événements indésirables suivants : décès, infarctus du myocarde, embolisme périphérique, migraine, dyspnée, shunt persistant, réintervention, arythmie, complications péri procédurales (thrombus intracardiaque, épanchement péricardique, embolisation de prothèse, embolie pulmonaire, complication vasculaire).

Une évaluation sera aussi réalisée sur d'éventuelles migraines résiduelles : amélioration, stabilité ou disparition.

Un registre italien **(30)** vient d'être tout récemment publié. Il porte sur le suivi à long terme avec le système Occlutech* avec suivi à 10 ans.

442 patients ont été inclus, il s'agit d'un registre prospectif mono centrique.

Les indications de fermeture étaient soit des AVC cryptogéniques dans 65 % des cas, éventuellement associés à un tableau de migraine dans 21,7 %. Les autres indications : AVC découvert sur une IRM 10,8 % des cas et enfin 2 % dans le cadre d'ADD

Le follow-up était de 10 ans avec à la première année un contrôle échographique puis suivi téléphonique chaque année.

Les patients ont été inclus entre décembre 2011 et février 2017.

L'âge moyen est de 45,5 +/-12 ans avec 57 % de femmes.

Le taux de succès de la procédure définit comme un succès d'intervention avec absence d'événement grave et/ou large shunt résiduel a été obtenu dans 99,7 % des cas.

Les complications hospitalières ont été retrouvées chez 3,4 % avec :

- 0,9 % des patients ayant présenté soit un hématome ou faux anévrisme récurrent ne nécessitant pas une réparation chirurgicale (4 pts)
- 2,5 % des patients ont présenté un trouble du rythme supraventriculaire per procédure (11 pts)

Lors du suivi à long terme les troubles du rythme supraventriculaire à type de fibrillation atriale ou flutter ont été retrouvés chez 2,2 % des patients dans la première année et puis régression de tous ces troubles du rythme à distance.

Dans cette étude, l'existence d'un shunt résiduel au premier jour post interventionnel était retrouvé chez 22 patients soit 4,9 % des patients. A un an ce taux était de 4,7 % et dans la majorité des cas il s'agissait de shunt minime modéré jamais de shunt sévère

Sur le follow-up à 10 ans pour les patients qui avaient un shunt résiduel celui-ci va disparaître très progressivement pour ne persister que chez 2 patients et ne va augmenter que chez un seul des patients inclus dans ce registre.

Un patient a présenté un accident vasculaire cérébral bien qu'on ne retrouvera pas de shunt résiduel ou d'arythmie atriale.

A aucun moment il ne sera constaté d'érosion de la paroi aortique, de dislocation de la prothèse ou de thrombose à un an.

Les conclusions des auteurs sont les suivantes : sur une large cohorte de patients, après implantation d'une prothèse, les résultats immédiats et à long terme sont très satisfaisants avec un taux de succès procédurale élevé et un très faible risque d'évènements à 10 ans.

Cet article récent va dans le sens des constatations actuelles : concernant l'efficacité et le taux de complication excessivement faible à court et moyen terme et long terme.

11. Le risque d'arythmies atriales à long terme.

Le risque connu à court terme lié à la procédure est estimé aux alentours de 1,5 à 2,5 % mais le risque à long terme de développer ce trouble du rythme n'a jamais été clairement évalué.

Un registre danois publié en 2023 (31) avait pour but d'évaluer ce risque après fermeture d'un foramen ovale perméable.

Il s'agit d'une étude de cohorte menée entre 2008 et 2020, cette étude a identifié 3 groupes :

- Une cohorte : fermeture du FOP,
- Une cohorte : FOP diagnostiqué mais non fermé
- Une cohorte de comparaison sans FOP appariée sur l'âge et le sexe.

Un total de 817 patients avec fermeture du FOP, 1224 avec un diagnostic de FOP (sans fermeture) et 8 170 issus de la population sans FOP ont été identifiés.

Le risque de FA à 5 ans était de 7,8 % [intervalle de confiance à 95 % (IC) : 5,5-10] dans la cohorte de fermeture du FOP, 3,1 % (IC à 95 % : 2,0-4,2) dans la cohorte FOP non opéré et 1,2 % (IC à 95 % : 0,8-1,6) dans la cohorte appariée.

Le risque relatif de la FA comparant la fermeture du FOP au groupe FOP respecté était de 2,3 (IC à 95 % : 1,3-4,0) au cours des 3 premiers mois et 0,7 (IC à 95 % : 0,3-1,7) à 5 ans.

En comparant le groupe fermeture du FOP à la cohorte appariée il était de 51 (95 % IC : 21-125) au cours des 3 premiers mois et 2,5 (IC 95 % : 1,2-5,0) à 5 ans.

Conclusion des auteurs : la fermeture perméable du foramen ovale n'était pas associée à une augmentation substantielle du risque à long terme de développer une FA au-delà du risque bien connu à court terme lié à la procédure.

12. Recommandations actuelles des organismes médicaux sur la prise en charge des plongeurs avec FOP.

Les recommandations actuelles des organismes médicaux concernant la prise en charge des plongeurs avec un FOP varient en fonction des preuves disponibles et des opinions d'experts. Plusieurs organismes médicaux, tels que l'Undersea and Hyperbaric Medical Society (UHMS) (32) et le Divers Alert Network (DAN) (33), ont émis des lignes directrices qui recommandent une évaluation approfondie des plongeurs atteints d'un FOP après un ADD. Ces lignes directrices encouragent la considération des facteurs individuels, des antécédents médicaux et des caractéristiques anatomiques lors de la décision de fermer ou non le FOP.

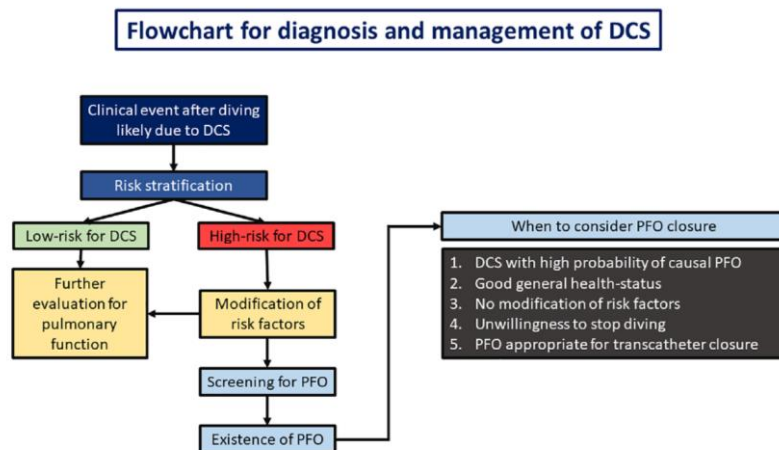
Cependant, il n'existe pas encore de consensus absolu sur la nécessité de fermer systématiquement le FOP chez tous les plongeurs présentant cette condition. Certains recommandent la fermeture du FOP uniquement chez les plongeurs ayant subi un ADD sévère ou chez ceux qui présentent des facteurs de risque additionnels, tandis que d'autres soutiennent une approche plus individualisée (34).

Conférences de consensus sur la fermeture de FOP

Différentes réunions de consensus ont eu lieu avec notamment en 2015 (35) cette réunion à Montréal faisant un état de l'art sur le foramen ovale perméable

L'ensemble de la lecture de ce workshop permet de comprendre les mécanismes physiopathologiques et le rôle du FOP dans les accidents de désaturation.

La conduite à tenir peut se résumer ainsi :



Dans le même sens, un « Consensus Paper » (36) publié en 2021 où participaient de nombreuses sociétés savantes : European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI), European Stroke Organisation (ESO), European Heart Rhythm Association (EHRA), European Association for Cardiovascular Imaging (EACVI), European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC), ESC Working Group on Adult Congenital Heart Disease, ESC Working Group on Thrombosis, European Haematological Society (EHA), European Underwater and Baromedical Society (EUBS)

Les auteurs concluent sur la prévention secondaire des ADD de la façon suivante :

Il n'existe aucune étude randomisée publiée (en 2021) comparant la fermeture du FOP à une attitude conservatrice dans la prévention des ADD. Il est donc proposé d'appliquer les règles suivantes :

1. Modifier le mode de vie de l'individu et ses caractéristiques physiologiques personnelles (Consommation de tabac et d'alcool, IMC, hydratation avant et après la plongée)
2. Eviter les problèmes techniques qui ont favorisé une production anormale de bulles ;
3. Réduire la saturation en azote des tissus avant décompression en respirant des mélanges suroxygénés (longées Nitrox)

Néanmoins, il existe certaines catégories de plongeurs pour qui effectuer ce type de plongée n'est pas faisable ou réaliste alors chez ces personnes, la fermeture du FOP peut être proposée sur des données

d'observation suggérant que la fermeture du FOP est associée avec une incidence réduite d'ADD chez les plongeurs.

Cependant, comme des ADD ont également été observés après la fermeture du FOP il convient de rappeler que la plongée peut avoir d'autres causes d'ADD même sans FOP.

- 4 La plongée ne devra être reprise qu'en cas de test aux bulles négatif et en l'absence de fermeture complète, les plongeurs ne devraient pas être autorisés à revenir au statut « sans restriction ».

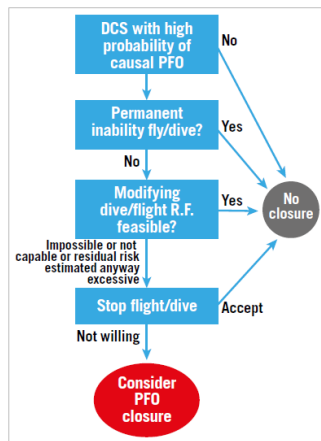


Figure 2. Flow chart for therapeutic decision making for DCS.
R.F.: risk factors

PRACTICAL SUMMARY 1: DECOMPRESSION SICKNESS

WHAT TO DO

- PFO screening in DCS cases with no obvious risk factors or with high but non-modifiable risk for DCS
- After a DCS, primarily prevent bubbles with behavioural and technical (B&T) changes
- If B&T changes are not possible or not effective, PFO closure can be proposed with shared decision making underscoring the lack of evidence
- Resume unrestricted activity only after confirmed PFO sealing post intervention

WHAT NOT TO DO

- Primary PFO screening
- Deny conventional flight or diving after incidental finding of PFO
- High-risk recreational dives after incidental finding of PFO
- Propose PFO closure if B&T changes can be made and are effective

SECONDARY PREVENTION OF DECOMPRESSION SICKNESS

Position Statements	Strength of the statement	Level of evidence
Regardless of the presence of a PFO, secondary prevention should primarily be aimed at suppressing VGE production, up to possible permanent cessation of the activity (Supplementary Table 4).	Strong	C
PFO closure can be offered to those patients having suffered from DCS: a) with a high probability of causal PFO; b) when cessation of diving/flying is not an option; or c1) when it is not possible to achieve an effective behavioural change to prevent the production of venous gas emboli; or c2) when the risk of further DCS, despite conservative limitations, is deemed unacceptable by the patient after consultation with an experienced dive or aerospace physician.	Strong	C
Prior to consideration of PFO closure, patients should be informed that this procedure is expected to reduce the risk of paradoxical VGE but will have no effect on VGE or pulmonary shunts.	Strong	C
In cases involving professional divers or pilots, offering PFO closure should be balanced against the possible consequences of PFO closure on work activities, according to local and international regulations.	Strong	C
In patients who have undergone PFO closure, documentation of complete closure of the PFO on follow-up is necessary for the patient to resume unrestricted diving.	Strong	C

Pour finir j'ai souhaité faire apparaître 3 histoires de plongeurs à qui j'ai demandé de raconter leur vécu avant et après la découverte d'un FOP suite à un ADD

- **Histoires vécues :**

Frederic (mon copain de club)

« Juin 2008, Fraichement N2, avec les copains nous plongeons quasiment tous les WE. Ce jour-là il fait beau, la mer est plutôt calme. Nous partons direction un site mythique de la baie de St Cast : « La catis » Le DP annonce 20m pour les N2 et vu les conditions cela sera 25m maxi (autorisé à l'époque). Soit ! le message est très (trop) bien accueilli...

Mise à l'eau, descente, puis grisé par le site et la profondeur nous arrivons à 20m puis rapidement 25m..la visite se poursuit.

A ¾ de la plongée j'aperçois une seiche sur le sable bien au-delà des 25m, je m'approche doucement puis regardant mon ordinateur je m'aperçois que j'ai atteint les 29m sans être arrivé au bout. Je me reprends et remonte vers mon binôme pour finir la plongée. Le retour sera tranquille, pour 29m et 42mn d'immersion, ma D4 affiche 1mn à 3m plus un palier de sécu que nous ne ferons pas.

Nous sortons, remontons l'échelle (haute à l'époque) et nous nous remettons en habit de ville. Fin de plongée pour tous et repartons vers le port de St Cast.

Non loin du port (j'estime à 30mn plus tard) j'ai des premiers signes de fatigue et de forts vertiges. Sujet au mal de mer je ne m'inquiète pas et regarde l'horizon. Le Sémaphore danse devant mes yeux avec une envie de vomir. Je préviens le DP, nous arrivons au port. Je tente de remonter la cale, cette dernière n'est pas assez large pour moi ... je me fais aider. Arrivé au local, c'est bon j'urine et donc pour moi ce n'est pas un ADD (je suis fraîchement N2 ...), d'autant que les effets s'estompent. Après tout j'ai souvent le mal de mer...

Nous mettons la table je m'assieds pour remplir mon carnet et là les engins entourant le port en travaux se mettent à se balancer, je regarde un encadrant, tente de me lever et ... tombe, rattrapé rapidement par mon voisin de table.

Tout s'enchaîne, je suis allongé dans le local du club, le DP, les encadrants et une infirmière présente (elle n'est plus au club) m'aide, je suis placé sous O2 et prend de l'aspirine, les effets s'estompent. Les pompiers arrivent, la gendarmerie, puis on m'annonce que je pars en hélico vers la cavale blanche à Brest. Arrivé là-bas, prise en compte de mon état, mise au caisson, les effets ont disparu mais je reste la nuit en surveillance et repars le lendemain à Rennes en taxi.

La suite c'est une série d'examen, oreille interne, et recherche de FOP (ETT) résultat négatif, pas de raison médicale décelée...Ce sera un Accident immérité.

La suite : j'obtiens l'initiateur (mars 2009), le N3(aout 2009), la qualification Trimix normo (mai 2011), le N4 (juin 2012) et enfin le MF1 (juin 2015).

A noter qu'en tant que N3/TRIMIX, j'ai eu l'occasion de faire des plongées profondes, dans des mers parfois agitées, imposant des efforts (semi-rigide, remonter les blocs en haut de la cale, BI-12 ...).

Au sortir du MF1 j'en suis à 400 plongées depuis le N1, dont 15 au Trimix.

Septembre 2015, séjour à Ouessant, le temps est plutôt pas mal, nous effectuons 3 plongées dans la baie de LAMPAUL (profil 35 / 40m) puis migrons au Stiff pour une plongée sur le YEMBO. Profil carré 42m, 31mn, remontée au parachute, Palier 6mn à 3m.

Retour vers le semi rigide, remontée décapelée par une petite échelle (peu d'effort) Déchargement au port du Stiff, puis route vers le port de Lampaul (10mn). Douche, puis nous allons manger. Il me manque mon sac, Je remonte à l'étage du bâtiment, puis là-haut les premiers symptômes de vertiges démarrent. Je redescends, prends une bouteille d'eau avec moi et m'assieds dans le local, quelqu'un remarquera mon absence. Effectivement Valérie me cherche, je lui explique et demande l'O2.

A cet instant tout s'enchaîne, mise sous O2, aspirine, pompier puis un hélico m'attend pour un transport à la cavale blanche.

Arrivé là-bas les effets se sont estompés, quelques tests d'équilibre, rien à redire. Passage au caisson puis nuit pour surveillance. Le lendemain, rdv est pris pour un test vestibulaire et d'équilibre ils s'avèreront négatifs.

Il n'en sera pas de même de la détection de FOP au CHU de Rennes (ETT, ETO) ... Celui-ci est bien là.

La suite c'est la mise en place d'un protocole de retour à la plongée (6 heures d'intervalle surface, plongée au Nitrox, pas de palier obligatoire).

Depuis l'accident j'ai effectué 114 plongées. Au départ je me suis fait une raison et c'est vrai je pouvais encore plonger c'était parfait. Mais c'est vrai ma nouvelle vie de plongeur manque d'adrénaline. J'ai passé le TSI me disant je formerai des initiateurs mais je vois bien qu'il me manque quelque chose. Ne pas pouvoir être là sur un cursus N2 complet (les remontées...) me gâche un peu le plaisir (sauf une année où j'ai dû tout assurer mais je me suis fait peur.) A ce propos la peur aussi de me "re" cartonner bêtement. Exit le N3 et le N4 (et je comprends parfaitement pourquoi.).

Tout cela a dû effectuer un travail de sape qui a apporté une certaine lassitude et je me suis éloigné tranquillement de la plongée... la petite flamme n'est plus ce qu'elle était. Aujourd'hui le plaisir de plonger a disparu, j'arrête au moins un temps. »

Ce qui est intéressant dans ce témoignage et c'est que suite au premier accident de plongée le diagnostic de foramen ovale perméable n'avait pas pu être fait raison pour laquelle il avait été retenu une erreur de procédure avec des facteurs aggravants.

Ce plongeur a continué à progresser et a passé son monitorat fédéral. Est apparu ensuite un second accident où le diagnostic a été redressé. Depuis cette date le plongeur n'a pas pu exercer comme le souhaitait ses activités de plongée sous-marine en tant que MF1 et a finalement décidé d'arrêter cette activité pour une durée indéterminée...

Mon ami Jack : (mon maitre)

Pour mon ami Marc

1965	Pratique de la chasse sous-marine - J'ai 18 ans
1968	Cours de plongée et brevet élémentaire (niveau 1) Pratique de la plongée les week-end (4 saisons), club de St-MALO, ainsi que les congés (Corse ou Espagne)
1970	Formation des futurs plongeurs (piscine au club l'hiver – confirmation et plongées en mer au printemps)
1979	E2 N. IV / directeur de bassin / initiateur
1980	RIFA plongée En plus des plongées au club, je plonge l'été en Corse, Espagne ... Toutes ces plongées effectuées avec montre, profondimètre et table M.N 90 40 /50 /60 mètres à l'air. 1 à 2 plongées/jour. Temps surface : minimum 4 heures
1995	Activités club pendant 25 ans, ayant toujours, préconisé la sécurité, remontée lente (confort), paliers respectés, voir complémentaires (plaisir) Pendant ces années de plongées, aucun accident, aucun problème personnel
2000	Nouvelles orientations pour moi (j'ai 53 ans), mes plongées à l'air, en séjour, en voyage à l'étranger – découverte de la photo sous-marine (stabilitjacket, ordinateur) Plongées (1 à 2 / jour matin et après-midi) – profondeur moyenne 30 – 40 mètres. Pas de problème

	<p>Séjour en Egypte sud (camp) :</p> <ul style="list-style-type: none">. le matin 2 plongées successives (intervalle surface 1 heure)- 30 mètres - Déjeuner, repos (2 ou 3 heures)- puis 3^{ème} plongée 20 mètres. <p><u>Le phénomène X</u> est apparu 3 ou 4 fois.</p> <p>Séjour à BALI – safari plongées</p> <ul style="list-style-type: none">. le matin 2 plongées successives (surface 1 heure) – 30 mètres – <p>Même situation, même problème.</p> <p><u>PHENOMENE X</u></p> <p>Un peu douloureux, une sensation très désagréable sous le bras gauche (une bande) qui a tendance à descendre, passer sur l'abdomen et finir sur le côté droit, puis disparaît.</p> <p>Je constate, au passage des couleurs (jaune/bleue).</p> <p>Le problème dure environ 2 heures. L'idéal pour moi est de m'allonger.</p> <p>Je mets cela sur le fait de la nourriture ou boisson gazeuse, voire mauvaise digestion.</p>
2011	Certificat NITROX
2012	<p>Voyage plongée croisière au COSTARICA – L'île COCO 12 jours.</p> <p>Les plongées : 2 voire 3 par jour</p> <p>Plongées pas faciles : luminosité moyenne, beaucoup de courant</p> <p>Les sites à 37 mètres, – une palanquée soudée - balise Argos par plongeur au cas où...</p> <ul style="list-style-type: none">- 1 plongée le matin à 9 H – déjeuner – 14 heure départ pour la 2^{ème} plongée <p>Toutes aux nitrox 32% ppO₂ – 1,6 – profondeur 37 mètres, remontée et observation de la faune à 20 mètres. Les remontées sont lentes, trop lentes à mon avis.</p> <p>Les 2 premiers jours de plongée sont OK.</p> <p>3^{ème} jour :</p> <p>A la sortie de la 2^{ème} plongée, dans l'après-midi (2 h), le phénomène X est accentué et douloureux. S'ajoute une sensation de léger vertige (pas de chute).</p> <p>Je demande à notre guide de récupérer une bouteille d'oxygène et m'installer sur ma couchette (1 heure environ). Le phénomène disparaît.</p> <p>Le lendemain matin, discussion avec le guide (j'ai passé une bonne nuit - pas de problème).</p> <p>OK pour la plongée du matin (pas de symptôme).</p> <p>14 H. 2^{ème} plongée – 2 H après de la sortie, même symptôme que la veille mais avec davantage de vertiges. Information au guide (cabine, oxygène). En 1 H le phénomène disparaît.</p> <p>Bonne nuit.</p> <p>Le lendemain matin 9 h, pour la plongée, il est convenu que je me stabiliserai au-dessus de la palanqué (37 mètres) et moi à 30 mètres. La remontée du fond, trop lente, je conserve cet écart.</p>

	<p>Déjeuner – Choix : plongée ou visite de l’île – mon choix visite de l’île.</p> <p>4 à 5 heures après la plongée du matin (pas de symptôme), mais à un moment sur le sentier, des vertiges (2 minutes environ).</p> <p>Bonne nuit.</p> <p>Les jours suivants – mêmes profils – 2 plongées (30 mètres maxi) – 4 heures intervalle surface –</p> <p>Pas de problème jusqu’à la fin de la croisière.</p> <p>Retour en France – visite médecin de la plongée qui me dirige vers toi.</p> <p>Résultat : constatation d’un FOP et programme mis en place qui me convient très bien.</p> <p>2 plongées/jour – intervalle surface 8 H – Nitrox – ordinateur sur air.</p> <p>Depuis ce « régime », je plonge avec plus de plaisir : plongées moins profondes (30 mètres), remontées plus lentes, paliers (de principe) rallongés - Que du bonheur.</p>
2023	Aucun problème (phénomène X)
2023	<p>J’ai 75 ans</p> <p>A ce jour - + de 3500 plongées</p>

L’histoire de ce second plongeur met en évidence un accident de type cutis Marmorata possiblement récidivant malgré sa grande expérience de plongée. La préconisation des mesures de réduction des phénomènes bullaire s’avère tout à fait efficace depuis bientôt 10 ans il continue à plonger et avec toujours son plus grand plaisir.

Magali : plongée ou burn out ?

« Mes premières immersions en plongée sous-marine ont eu lieu à Cavalaire-sur-Mer (Var 83) en **1987**. Il s’agissait de « baptêmes » avec un groupe d’amis dont mon encadrant (2^e échelon), d’un club de terre de la région valentinoise (Drôme 26).

Dans les faits, lesdits baptêmes n’avaient de commun avec les prérogatives fédérales actuelles que le fait d’être seule avec un encadrant. Pour le reste, un simple harnais de sangles pour maintenir le bloc, la réserve se tirait, la Fenzy se percutait, et nous nous baladions allègrement à 23m de profondeur... et c’était merveilleux.

Donc durant 20 ans, parallèlement la vie d’une bipolaire sans traitement efficace qui passe quelques petits séjours en hôpital (psychiatrique, tant qu’à faire) pour en sortir broyée par le système et les médocs inefficaces et rechuter ...

Mais le sport a toujours été la meilleure des thérapies, et m’a toujours permis de remonter les pentes de plus en plus raides de cette p...n de maladie.

Sans parler des migraines qui m’ont toujours accompagnée du plus loin qu’il m’en souviennent.

Le hasard fait que dans mes connaissances, deux personnes sont au club de plongée local et me proposent de me refaire un baptême en piscine après ma sortie de l’hôpital et ma reprise progressive

du travail... **octobre 2014**, je boucle la ceinture de mon premier gilet stabilisateur et je boucle la boucle de ma vie depuis 1987 pour enfin revenir respirer sous l'eau et être libérée de toutes les tensions de la surface et de mon corps...

Et la pression me soigne, je le sens. Mais que de douleurs au retour en surface : crises de migraines violentes en fin de plongée quasi systématiques, même sur des plongées de moins de 20m. je fais plus de 200 plongées/an dès la première année. Et j'y trouve un équilibre parfait.

Mais toujours les migraines qui sont très compliquées : déshydratation et la diminution de pression lors du retour en surface sont les deux marqueurs caractéristiques du déclenchement de la crise.

Puis je passe au trimix !!!!! ALLÉLUIA ! quel miracle ! jamais je n'ai senti mon cerveau aussi clair que lors des plongées trimix : aucune migraine, c'est génial.

Recycleur : je majore la PPO2, ce qui me permet de ne plus me sentir fatiguée et limite +++ les migraines. Recycleur trimix : c'est juste PARFAIT .

Et pof : ADD vestibulaire: me voilà révélée « FOPpée » !!!!!

Le médecin hyperbare de..., la cardiologue de..., tous deux me rient au nez lorsque je demande si c'est opérable car j'avais vraiment pour projet de passer professionnelle, mon rêve étant l'archéologie sous-marine, j'avais tout mis en place pour y arriver: « vous êtes trop vieille et en plus une femme, c'est pas pour vous la plongée pro». « on ne s'amuse pas à opérer le cœur pour le loisir en France, Madame. »

Qu'à cela ne tienne, je poursuis mon chemin sous-marin, sachant pertinemment que je joue à la roulette russe. Mais je suis d'une vigilance extrême, je plonge nitrox, je ne monte plus sur le bateau équipée (je décapelle, que ce soit en circuit ouvert ou circuit fermé), j'ai une hygiène de vie intégriste lorsque je plonge... et j'arrive jusqu'au DEJEPS ainsi.

Comme le hasard de la vie fait toujours bien les choses, je rencontre un plongeur N3 très gentil qui, de plus, est cardiologue.

La suite tu la connais. Et depuis l'opération ? JE N'AI PAS EU UNE SEULE CRISE DE MIGRAINE DEPUIS LE JOUR DE LA FERMETURE DE MON FOP et ça, je te jure que ça change la vie. Je poursuis mon périple en plongée professionnelle, je travaille tout l'été à Carqueiranne, je reste toujours extrêmement prudente car j'ai 54 ans, mais j'ai le cœur léger, depuis qu'il est en titane. Je garde mon hygiène de vie, j'essaie de ne plus fumer (deux cigarettes par jour ce mois-ci, aucune entre février et juin), et je suis heureuse.

Lors de la visite des six mois, le médecin qui m'a reçue pour le contrôle échographique m'a dit : « Ah, les migraines, c'est pas nous ! » mais je suis convaincue que si. Je suis certaine que la fermeture du FOP a résolu cette tare que je trainais depuis mon enfance.

La fermeture du FOP ainsi que le milieu hyperbare me permettent d'accéder à une vie ordinaire en ayant soigné (peut-être guéri) la migraine et stabilisé la maladie bipolaire. Je n'ai jamais été aussi bien dans mon corps et dans mon cerveau que depuis le **8 février 2023**. Et pour cela, je ne te remercierai jamais assez.

Cette dernière histoire rapporte que le bénéfice d'une fermeture d'un foramen ovale perméable chez une plongeuse ayant présenté un accident de désaturation et pour qui cette activité lui permettait d'obtenir une stabilité sur le plan psychologique.

Il a été assez simple de proposer cette fermeture dans le cadre d'une plongeuse ayant maintenant son DEJPS avec des vellétés d'orientation dans le cadre de la plongée sous-marine professionnelle.

Outre les bénéfices attendus en terme sécuritaire, la disparition des migraines est aussi l'élément très intéressant.

J'ai volontairement raccourci ce résumé qui parlait aussi de ses expériences en haute montagne très difficilement tolérable

- **La question économique**

Pour finir volontairement je n'aborde pas le problème de la prise en charge (en sachant qu'une prothèse vaut environ 3700 euros et que l'acte est codé DASF 005: 819,46 euros

Pour L'HAS sont retenus comme indications :

- platypnée-orthodéoxie chez un patient sous oxygénothérapie au long cours.

- FOP associé à un ASIA (>10mm) ou à un shunt droit-gauche >20 μ bulles ou un diamètre > ou = 2mm chez un patient âgé entre 16 et 60 ans, ayant eu un infarctus cérébral récent (< ou = 6 mois) Le FOP étant la cause la plus probable de l'infarctus cérébral après un bilan étiologique par un spécialiste neuro-vasculaire.

Concernant l'ADD chez le plongeur il est souvent avancé que l'acte interventionnel ne doit pas être pris en charge pour une activité loisir.

Cet argument est bien sûr recevable néanmoins que penser par exemple de l'exemple suivant : Homme de 55 ans sportif pratiquant le triathlon à haut niveau et asymptomatique avec un bilan biologique dans les limites de la normale consulte un de mes collègues cardiologue du sport à la demande de son médecin traitant pour un certificat et réalisation d'un test d'effort. Le patient soutient une charge de 280 W pendant 3 minutes négatif cliniquement mais positif électriquement.

Coroscaner : suspicion de lésion sur l'interventriculaire antérieure.

Coronarographie : sténose serrée de l'IVA traitée par stent actif.



L'indication de l'angioplastie est donc la prévention d'un accident coronarien au cours d'une activité physique intense. Le bénéfice en terme de mortalité sur ischémie silencieuse n'est pas démontré néanmoins afin que ce patient puisse poursuivre son activité sportive une prise en charge interventionnelle a donc été réalisée.

La question aurait pu se poser d'une autre façon : compte tenu de la positivité électrique du test d'effort à un très haut palier on aurait pu ne pas signer ce certificat et lui demander de réduire ses activités sportives et de prendre un traitement par bêtabloquant et statine.

Sommes-nous loin de la fermeture d'un foramen ovale perméable chez un plongeur loisir expérimenté ayant fait un ADD sans faute de procédure ? À mon sens NON

CONCLUSION

Après cette revue de la littérature ainsi que les 2 enquêtes réalisées, le dogme de la non fermeture d'un FOP chez le plongeur « loisir » expérimenté sans faute évidente de procédure ou de facteurs favorisant doit évoluer.

La proposition de mesures visant à limiter au maximum la production de bulles doit être l'attitude de principe à suivre par le plongeur victime d'ADD.

Cette solution très efficace est acceptée le plus souvent et le risque de récurrences s'avère très faible néanmoins certains plongeurs ne pourront pas les appliquer de manière simple notamment les plongeurs participant à la formation des plus jeunes ou ceux plongeant dans des lieux distants d'un caisson hyperbare.

L'information et le rapport bénéfice risque doivent être exposés de manière la plus objective possible.

Les décisions seront prises en concertation avec le patient, les médecins spécialisés en médecine hyperbare et en cardiologie, en tenant compte des recommandations actuelles, des preuves scientifiques disponibles et des caractéristiques spécifiques de chaque plongeur. La prise en charge personnalisée garantira la meilleure gestion du risque d'accidents de désaturation tout en minimisant les risques potentiels associés aux interventions médicales.

Bibliographie

- 1** Ekenhoff RG, Olstad CS, Carrod G. Human dose-response relationship for decompression and endogenous bubble formation. *J Appl Physiol* (1985). 1990 Sep;69(3):914-8. doi: 10.1152/jappl.1990.69.3.914. PMID: 2246178.
- 2** Elzanaty AM, Patel N, Sabbagh E, Eltahawy EA Patent foramen ovale closure in the management of cryptogenic stroke: a review of current literature and guideline statements. *Curr Med Res Opin.* 2021 Mar;37(3):377-384. doi: 10.1080/03007995.2021.1876648. Epub 2021 Feb 8. PMID: 33460329
- 3** Boycott AE, Damant GC, Haldane JS. The prevention of compressed-air illness. *J Hyg (Lond).* 1908 Jun;8(3):342-443. doi: 10.1017/s0022172400003399.
- 4** Hills BA, Butler BD. Size distribution of intravascular air emboli produced by decompression. *Undersea Biomed Res.* 1981 Sep;8(3):163-70.
- 5** Pontier J-M, Vallée N, Bourdon L. Bubble-induced platelet aggregation in rat model of decompression sickness. *J Appl Physiol* (1985). 2009 Dec;107(6):1825-9. doi: 10.1152/jappphysiol.91644.2008. Epub 2009 Oct 22.
- 6** Denoble PJ, ed. DAN annual diving report 2019 edition: a report on 2017 diving fatalities, injuries, and incidents. Durham, NC: Divers Alert Network, 2019: 113.(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK562527/>) Hubbard M, Davis FM, Malcolm K,
- 7** Mitchell SJ. Decompression illness and other injuries in a recreational dive charter operation. *Diving Hyperb Med* . 2018 Dec 24;48(4):218-223. doi: 10.28920/dhm48.4.218-223.
- 8** Haas RM, Hannam JA, Sames C, et al. Decompression illness in divers treated in Auckland, New Zealand, 1996–2012. *Diving Hyperb Med* 2014; 44: 20-5.
- 9** Mitchell SJ, Bennett MH, Moon RE. Decompression Sickness and Arterial Gas Embolism. *N Engl J Med.* 2022 Mar 31;386(13):1254-1264. doi: 10.1056/NEJMra2116554

- 10** Department of the Navy. Volume 5: Diving medicine and recompression chamber operations. In: U.S. Navy diving manual, revision 7. Washington, D.C.: Naval Sea Systems Command, 2016: 17-44 (https://www.navsea.navy.mil/Portals/103/Documents/SUPSALV/Diving/US%20DIVING%20MANUAL_REV7.pdf?ver=2017-01-11-102354-393).
- 11** Mas JL, Derumeaux G, Guillon B, et al. Patent Foramen Ovale Closure or Anticoagulation vs. Antiplatelets after Stroke. *N Engl J Med* 2017;377:1011—21.
[12https://medical.fessm.fr/uploads/media/default/0001/06/3d4db53026f4828a7ef2cb61ae67e3d3e1cc342b.pdf](https://medical.fessm.fr/uploads/media/default/0001/06/3d4db53026f4828a7ef2cb61ae67e3d3e1cc342b.pdf)
- 12** https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2022-07/note_de_cadrage_ligne_generique_des_implants_exovasculaires_de_fermeture_de_malformations_congenitales.pdf
- 13.** Divers Alert Network. "Guidelines for Management of Asymptomatic Individuals with High Risk of Decompression Sickness.<https://dan.org/health-medicine/health-resource/health-safety-guidelines/guidelines-for-patent-foramen-ovale-and-fitness/>
- 14** <https://www.acc.org/education-and-meetings/patient-case-quizzes/2020/02/12/07/29/pfo-in-a-scuba-diver>
- 15.** Purvis JA, Morgan DR, Hughes SM. Prevalence of patent foramen ovale in a consecutive cohort of 261 patients undergoing routine "coronary" 64-multi-detector cardiac computed tomography. *Ulster Med J.* 2011 May;80(2):72-5.
- 16** Movsowitz C, Podolsky LA, Meyerowitz CB, Jacobs LE, Kotler MN. Patent foramen ovale: a nonfunctional embryological remnant or a potential cause of significant pathology? *J Am Soc Echocardiogr.* 1992 May-Jun;5(3):259-70. doi: 10.1016/s0894-7317(14)80346-5.
- 17** Honěk J, Šefc L, Honěk T, Šrámek M, Horváth M, Veselka J. Patent Foramen Ovale in Recreational and Professional Divers: An Important and Largely Unrecognized Problem. *Can J Cardiol.* 2015 Aug;31(8):1061-6. doi: 10.1016/j.cjca.2015.03.010. Epub 2015 Mar 12.
- 18** Mojadidi MK, Winoker JS, Roberts SC, et al.. Accuracy of conventional transthoracic echocardiography for the diagnosis of intracardiac right-to-left shunt: a meta-analysis of prospective studies. *Echocardiography* 2014;31:1036–48. 10.1111/echo.12583
- 19** Mojadidi MK, Bogush N, Caceres JD, et al.. Diagnostic accuracy of transesophageal echocardiogram for the detection of patent foramen ovale: a meta-analysis. *Echocardiography* 2014;31:752–8. 10.1111/echo.12462
- 20** Tobe J, Bogiatzi C, Munoz C, et al.. Transcranial doppler is complementary to echocardiography for detection and risk stratification of patent foramen ovale. *Can J Cardiol* 2016;32:986.e9–986.e16. 10.1016/j.cjca.2015.12.009
- 21** Honěk J, Šrámek M, Honěk T, Tomek A, Šefc L, Januška J, Fiedler J, Horváth M, Novotný Š, Brabec M, Veselka J. Screening and Risk Stratification Strategy Reduced Decompression Sickness Occurrence in Divers With Patent Foramen Ovale. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2022 Feb;15(2):181-189. doi: 10.1016/j.jcmg.2021.06.019.
- 22** Cantais E, Louge P, Suppini A, Foster PP, Palmier B. Right-to-left shunt and risk of decompression illness with cochleovestibular and cerebral symptoms in divers: case control study in 101 consecutive dive accidents. *Crit Care Med* 2003;31:84-8.
- 23** Moon RE, Bove AA. Transcatheter occlusion of patent foramen ovale: a prevention for decompression illness? *Undersea Hyperb Med.* 2004;31:271-4.

- 24** Vanden Eede M, Van Berendoncks A, De Wolfe D, De Maeyer C, Vanden Eede H, Germonpré P. Percutaneous closure of patent foramen ovale for the secondary prevention of decompression illness in sports divers: mind the gap. *Undersea Hyperb Med.* 2019;46:625-32.
- 25** Torti SR, Billinger M, Schwerzmann M, et al. Risk of decompression illness among 230 divers in relation to the presence and size of patent foramen ovale. *Eur Heart J* 2004;25:1014-20.
- 26** Wilmshurst P, Walsh K, Morrison L. Transcatheter occlusion of foramen ovale with a button device after neurological decompression illness in professional divers. *Lancet* 1996;348:752-3.
- 27** Walsh KP, Wilmshurst PT, Morrison WL. Transcatheter closure of patent foramen ovale using the Amplatzer septal occluder to prevent recurrence of neurological decompression illness in divers. *Heart* 1999;81:257-61.
- 28** Honek J, Sramek M, Sefc L. et al. Effect of catheter-based patent foramen ovale closure on the occurrence of arterial bubbles in scuba divers. *JACC Cardiovasc Interv* 2014;7:403-8
- 29** Billinger M, Zbinden R, Mordasini R, et al. Patent foramen ovale closure in recreational divers: effect on decompression illness and ischaemic brain lesions during long-term follow-up. *Heart* 2011;97:1932-7
- 30** Trabattoni D, Gili S, Calligaris G, Teruzzi G, Troiano S, Ravagnani P, Santagostino Baldi G, Montorsi P. *Int J Cardiol.* 2023 Sep 15;387:131116 Patent foramen ovale closure with the Occlutech Figulla flex II device: A long-term (up to 10-years) follow-up.
- 31** Skibsted CV, Korsholm K, Pedersen L, Bonnesen K, Nielsen-Kudsk JE, Schmidt M. Long-term risk of atrial fibrillation or flutter after transcatheter patent foramen ovale closure: a nationwide Danish study. *Eur Heart J.* 2023 Sep 21;44(36):3469-3477.
- 32** Undersea and Hyperbaric Medical Society. "Clinical Practice Guideline: Patent Foramen Ovale and Decompression Illness." UHMS Publications,
- 33** Divers Alert Network. "Guidelines for Management of Asymptomatic Individuals with High Risk of Decompression Sickness.<https://dan.org/health-medicine/health-resource/health-safety-guidelines/guidelines-for-patent-foramen-ovale-and-fitness/>
- 34** <https://www.medsubhyp.fr/wp-content/uploads/2022/12/Sant-au-travail-des-travailleurs-hyperbares-2018-v2.pdf>
- 35** Denoble PJ, Holm JR, eds. Patent Foramen Ovale and Fitness to Dive Consensus Workshop Proceedings. Durham, NC, Divers Alert Network, 2015, 160 pp. Copyright © 2015 Divers Alert Network 6 West Colony Place Durham, NC 27705
- 36** Pristipino C, Germonpré P, Toni D, Sievert H, Meier B, D'Ascenzo F, Berti S, Onorato EM, Bedogni F, Mas JL, Scacciatella P, Hildick-Smith D, Gaita F, Kyrle PA, Thomson J, Derumeaux G, Sibbing D, Chessa M, Hornung M, Zamorano J, Dudek D. European position paper on the management of patients with patent foramen ovale. Part II - Decompression sickness, migraine, arterial deoxygenation syndromes and select high-risk clinical conditions. *EuroIntervention.* 2021 Aug 6;17(5):e367-e375. doi: 10.4244/EIJ-D-20-00785.

